## E und

## Elektrotechnik und Haschinenbau

ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN
VERBANDES FÜR ELEKTROTECHNIK
SCHRIFTLEITER: H. SEQUENZ UND F. SMOLA, WIEN SPRINGER-VERLAG, WIEN

78. Jahrgang

Nue Ölstrahlschalter mit Mehrfach-Unterbrechung

Wien, 1. Oktober 1961

Heft 19, Seite 549-604



für 110 bis 420 kV

Durch Elementprüfung voll nach-

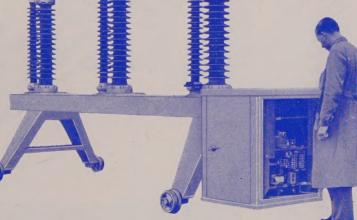
gewiesene Nennausschaltleistung. Nachgewiesene Beherrschung des Abstands-Kurzschlusses.

Rückzündungsfreies Ausschalten leerlaufender Leitungen.

Geräuschloser Betrieb.

Sichere Isolation gegen Erde durch Vollkern-Stützisolatoren.

Bei Ausfall der Hilfsbetriebe voll schaltbar.



Ölstrahlschalter Type HPF 514, 220 kV, 1250 A, 10000 MVA, mit Einzelpol-Motorfederantrieb Type FKF 103.

Zur Fabrikation in Linz derzeit bestellt:

5 dreipolige Schaltergruppen 220 kV für Verbundgesellschaft Wien und

4 für RWE Essen

SPRECHER SES & SCHUH FABRIK ELEKTRISCHER APPARATE

## SPRECHER & SCHUH

GESELLSCHAFT M. B. H., LINZ, FRANCKSTR. 51













una



fernsprechämter, einrichtungen für orts- und selbstwählverkehr, fernsprech-nebenstellen-anlagen, trägerfrequenz-einrichtungen, fernmeldeanlagen für evu's, fernsteuer-, fernmess- und fernschaltanlagen, notruf-,
feuermelde- und rauchmeldeanlagen, uhrenanlagen, kleinmotoren für
spezialzwecke, elektronische groß-rechenanlagen, rohrpostanlagen, förderanlagen, briefsortieranlagen, direktsprechanlagen, hauszentralen, funkanlagen, richtfunkstrecken, funknavigationshilfen, richtfunk-einrichtungen,
fernschreiber, lochstreifengeräte, wechselstrom-telegrafiesysteme, koaxialkabelsysteme, elektronenröhren, rundfunkröhren, mp-kondensatoren,
lautsprecher, elektronische bauelemente, elektrogeräte





## Elektrotechnik und Maschinenbau

78. Jahrgang

Wien, 1. Oktober 1961

Heft 19

### Die Errichtung des Atominstitutes der österreichischen Hochschulen, sein Ziel und seine Aufgaben

Von Bundesminister für Unterricht Dr. Heinrich Drimmel

Österreich ist es ohne seine Schuld erst verhältnismäßig spät gelungen, aktiv in der modernen Atomforschung im Verein mit den anderen Nationen mitzuarbeiten, weil bis zur Erlangung unserer Souveränität jede Forschungsarbeit in dieser Richtung verboten war.

Seit 1955 waren aber die österreichischen Hochschulen bemüht, für die wissenschaftliche Forschung und Lehre, für die wissenschaftliche Berufsausbildung ihrer Hörer und für die Heranbildung eines wissenschaftlichen Nachwuchses einen Forschungs= und Übungsreaktor mittlerer Leistung zu erhalten.

Dies umsomehr, als gerade österreichische Wissenschaftler an der Wiege der Atom=wissenschaft standen.

Bereits 1899 entdeckten die Österreicher Stefan Meyer und Egon von Schweidler die Ablenkbarkeit der von Radium ausgesendeten Strahlen in einem magnetischen Feld. Andere österreichische Wissenschaftler wie Otto Hönigschmid, der wesentliche Beiträge für die Grund-lagen der modernen Isotopie schuf; Friz Paneth, dem die Entdeckung der Hydride von Polonium, Wismut und Blei zu danken ist; Georg von Hevesy, der die Indikatorenmethode entdeckte; Karl Przibram, der die Verfärbungserscheinungen durch radioaktive Strahlen fand, Viktor Franz Hess, der spätere Nobelpreisträger; Lise Meitner, die jetzt in Schweden tätig ist, und viele andere schufen mit an den Grundlagen für eine moderne Atomwissenschaft.

Aber nicht nur die Wissenschaftler waren auf diesem neuen Gebiet tätig, auch die Staats=verwaltung förderte nach Kräften. So erhielt z.B. das Ghepaar Marie und Pierre Curie zunächst tonnenweise die St. Joachimstaler Pechblende, das Ausgangsprodukt für die Gewinnung des Radiums, vom österreichischen Ackerbauministerium umsonst.

1910 wurde in Wien das Radiuminstitut (jetzt: Institut für Radiumforschung und Kernzphysik) gegründet, dessen Leistungen in der ganzen Fachwelt anerkannt sind. Nach langen Beratungen wurde 1958 von einem Gremium von Fachleuten beschlossen, für die Unterrichtszwecke in Wien einen Hochschulreaktor zu errichten, der aber für die Ausbildung auf allen Gebieten der Kernenergie den Studenten aller Hochschulen offen stehen sollte. Die schwierigste Frage war die des Standorts, denn ein Hochschulreaktor muß für die Lehrer und Studenten in angemessener Zeit erreichbar sein, er darf aber für die Umgebung selbst unter ungünzstigsten Umständen keine Gefahr bilden.

Als Standort wurde nach genauen Überprüfungen und Einholung zahlreicher Fachgutachten von Medizinern, Biologen, Technikern, Physikern, Geologen und Meteorologen die dem Bund gehörige Liegenschaft in Wien II, Ecke Schüttelstraße-Stadionallee bestimmt und am 15. Dezember 1958 der Kaufvertrag zwischen der Republik Österreich und der amerikanischen Lieferfirma General Dynamic Corporation — General Atomic Division unterzeichnet.

Am 27. August 1959 fand die Grundsteinlegung statt, und Ende 1961 ist mit der feierlichen Gröffnung zu rechnen.

Am 23. März 1959 wurde auf Grund des Beschlusses der "Atomkommission der österreichischen Hochschulen" das "Atominstitut der österreichischen Hochschulen" gemäß den Bestimmungen des Hochschule Organisationsgesetzes vom 13. Juli 1955 errichtet und der Technischen Hochschule in Wien zugewiesen. Ein Reaktorgebäude ist ein Spezialbau und seine Errichtung erfordert naturgemäß längere Zeit als die eines Wohnhauses oder eines Institutes für Geisteswissenschaften, vor allem deswegen, weil die zahlreichen Sicherheitszbestimmungen umfangreiche Mehraufwendungen nötig machen.

Der Unterrichtsverwaltung ist es gelungen, für die künftigen und auch bereits gegen= wärtigen wissenschaftlichen Arbeiten am "Atominstitut" einen hochgualifizierten Mitarbeiter= stab zu sammeln, der sich derzeit aus den beiden Vorständen, den Hochschulprofessoren Dr. Gustav Ortner und Dr. Fritz Regler, sowie aus dem Spezialistenteam Dr. Ortwin Bobleter, Dr. Karl Buchtela, Dr. Johann Hejtmanek, Dr. Walter Schwert= führer, Dr. Grich Tschirf und Dr. Harald Weiss zusammensetzt.

Dem eigentlichen Hochschulreaktor sollen eine kernphysikalische, eine radiochemische und eine elektronische Abteilung angeschlossen werden, um ein möglichst umfassendes Unterzichtsprogramm bieten zu können.

Die Unterrichtsverwaltung kann mit Genugtuung feststellen, daß es in Zusammenarbeit mit allen Zentralstellen und den akademischen Behörden gelungen ist, der akademischen Jugend eine moderne Ausbildungs= und Fortbildungsstätte zu schaffen, die geeignet ist, der Entwicklung der Atomwissenschaft und aller ihrer Fachgebiete neue Wege aufzuzeigen und die Atomwissenschaft uneingeschränkt und ausschließlich der friedlichen Verwendung zuzu= führen.

1. brimen

#### Aufgaben des Atominstitutes

#### Das Atominstitut der österreichischen Hochschulen

Von G. ORTNER, Wien

DK 061.62 (436.14): 621.039.572

Die technische Auswertung der Uranspaltung hatte einen nicht sehr glücklichen Start. Die militärische Bedeutung der Uranspaltung wurde sehr bald erkannt, und Rüstungsproduktion hat immer die Geheimhaltung der erzielten Ergebnisse zur Folge, natürlich auch in diesem Fall. Erst anläßlich der Ersten Internationalen Konferenz für die friedliche Anwendung der Atomenergie, die 1955 in Genf abgehalten wurde, wurde eine große Zahl von Ergebnissen und Daten über Neutronenquerschnitte usw. veröffentlicht, wobei die Vereinigten Staaten, die Sowjetunion und England die größten Beiträge lieferten. Schon vorher hatte die Regierung der Vereinigten Staaten ihre Bereitwilligkeit mitgeteilt, interessierten Staaten Uran zur Verfügung zu stellen, das mit U-235, dem eigentlichen Spaltstoff, bis zu 20% angereichert ist. Dadurch wurde es auch finanziell schwächeren Ländern möglich, Atomreaktoren mit erschwinglichen Kosten zu errichten, und zwar mit gewöhnlichem Wasser als Moderator und einem großen Neutronenfluß bei geringer Uraninvestition. Von diesem Angebot der Vereinigten Staaten machten viele Staaten Gebrauch. In Österreich trat zuerst die Unterrichtsverwaltung dem Gedanken näher, einen Atomkernreaktor mit den dazu notwendigen Laboratorien im Rahmen eines Hochschulinstitutes zu errichten. Sehr rasch ergriff jedoch das Atomfieber andere, hochschulfremde Kreise mit divergierenden Interessen. Schließlich wurde von der österreichischen Regierung die Errichtung von zwei Reaktoren beschlossen: Ein leistungsstärkerer sollte in der Hauptsache den Zwecken der österreichischen Industrie und Wirtschaft dienen. Dieser Reaktor wurde mit den angeschlossenen Laboratorien beim niederösterreichischen Ort Seibersdorf errichtet. Er soll in einem beschränkten, vertraglich festgelegten Ausmaß auch den Hochschulen für spezielle Forschungsarbeiten zur Verfügung stehen. Ein zweiter, leistungsschwächerer Reaktor soll nur den österreichischen Hochschulen für Unterricht und Forschung zur Verfügung stehen. In den Vereinigten Staaten sind solche "Hochschulreaktoren" oft auf dem Universitätscampus errichtet, weil amerikanische Universitäten meist über ein mehr oder weniger ausgedehntes Gelände verfügen, über das die einzelnen Gebäude in sehr aufgelockerter Anordnung verteilt sind. In Wien ist die Situation eine ganz andere. Die Hochschulen und ihre Institute liegen zwischen Wohnhäusern; es gibt keine "Universitätsstadt". Trotzdem sollten der Hochschulreaktor und die dazugehörigen Laboratorien von den anderen Hochschulinstituten in kurzer Zeit und mit den öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar sein. Prof. Dr. KÜPPER, Direktor der geologischen Bundesanstalt, brachte zwei Plätze in Vorschlag, den Augarten im 2. Bezirk, wo allenfalls die dort noch vom Kriege herstammenden Flaktürme zur Unterbringung des Reaktors und der Laboratorien hätten verwendet werden können, und als zweite Möglichkeit den Platz des ehemaligen Fouragedepots bei der Stadionbrücke am praterseitigen Ufer des Donaukanals. Es ist das eine bundeseigene Parzelle von etwa 14 000 m² Fläche. Die Besich-

tigung des Inneren der Flaktürme erwies ihre völlige Unbrauchbarkeit zur Unterbringung eines Reaktors. Man hätte im Augarten Neubauten errichten müssen, was auf den Widerstand der Bezirksbehörden stieß. Es wurde daher auf die Parzelle bei der Stadionbrücke gegriffen, die als geeignet befunden wurde, und mit der ernsten Planung der Baulichkeiten Anfang 1958 begonnen.

Von größter Wichtigkeit war natürlich die Auswahl

des Reaktors. Mit Rücksicht darauf, daß der Reaktor am Stadtrand von Wien betrieben werden soll und besonders auch für Unterrichtszwecke, muß er absolut betriebssicher sein. Jeder Reaktor muß im Betrieb, der sich über längere Zeit erstrecken soll, schon wegen des Anwachsens kurzlebiger, Neutronen teilweise sehr stark absorbierender Spaltstoffe mehr Uran enthalten, als zur augenblicklichen Aufrechterhaltung der Kettenreaktion durch den Spaltprozeß erforderlich wäre. Man kann nun einen Reaktor dann als betriebssicher ansehen, ganz unabhängig von dem Funktionieren äußerer Abschaltvorrichtungen, wenn seine infolge des Überschußurans vorhandene Überschußreaktivität nur so groß ist, daß im Falle eines plötzlichen Wirksamwerdens derselben keine für die Brennstoffelemente untragbare Erhitzung eintritt. Die für den Betrieb des Reaktors erforderliche Überschußreaktivität ist um so größer je größer die Leistung des Reaktors ist. Es war daher ein Reaktor zu finden, der einen möglichst großen, auch für Forschungszwecke ausreichenden Neutronenfluß bei einer noch zulässigen gefahrlosen Betriebsleistung hat. Daß auch der Hochschulreaktor für Forschungszwecke brauchbar sein muß, ergibt sich aus dem Umstand, daß der Reaktor in Seibersdorf für die Hochschulen nur in einem sehr beschränkten Ausmaß zugänglich sein wird, soweit dies der Vertrag zwischen der Unterrichtsverwaltung und der österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie vorsieht. Ende 1957 wurde an einschlägige amerikanische und englische Firmen eine ausführliche Spezifikation der Eigenschaften und Einrichtungen, die der Reaktor aufweisen sollte, ausgesendet mit der Einladung, entsprechende Angebote einzusenden. Die Wahl fiel schließlich auf einen Reaktor der amerikanischen Firma General Atomic, einem Zweigunternehmen der Fa. General Dynamics. Die Beurteilung der verschiedenen Reaktortypen und der Erzeugerfirmen wurde dem Berichterstatter sehr erleichtert durch einen etwa halbjährigen Aufenthalt in den Vereinigten Staaten im Jahre 1956, der mit dem Besuch der großen Nationallaboratorien für Atomenergie und auch einschlägiger Firmen verbunden war. Ferner hatte sich im Bundesministerium für Unterricht ein Ausschuß von Hochschulprofessoren konstituiert, die die Wünsche der interessierten Hochschulkreise zum Ausdruck brachten und sich an der Planung beteiligten. Die Verhandlungen über den Abschluß eines Kaufvertrages mit der General Atomic über den Ankauf ihres Reaktors unter der Bezeichnung TRIGA Mark II, an denen Vertreter der Ministerien und anderer Behörden teilnahmen, gestalteten sich selbst nach Festlegung und Einigung über die technischen Einzelheiten noch ziemlich langwierig. Nach mehrmaliger Umarbeitung des Vertrages wurde er schließlich im Dezember 1958 unterzeichnet. Vertragsgemäß soll der TRIGA, der an einer anderen Stelle dieses Heftes ausführlich beschrieben ist, von der Fa. General Atomic komplett errichtet und nach einem Probebetrieb bei der vollen Leistung von 100 kW dem Käufer übergeben werden. Natürlich steht es der General Atomic frei, Aufträge an Unterlieferanten weiterzugeben, aber ohne Übertragung der Verantwortlichkeit gegenüber dem Käufer. So wurde z. B. der gesamte Außenaufbau des Reaktors — bestehend aus Wassertank, Betonabschirmung, Aluminiumteilen für die thermische Säule, Strahlrohren, Schwerbetontor für die thermische Säule mit den Laufschienen, Stiege auf die Reaktorplattform — von der österreichischen Fa. Simmering-Graz-Pauker durchgeführt, der Betonguß selbst

von der Fa. Ast & Co. Die Bauarbeiten an der Stadionbrücke wurden im Sommer 1959 in Angriff genommen, nachdem eine fast einjährige Planungsarbeit vorausgegangen war. Zuerst wurde vom Berichterstatter und seinen Mitarbeitern ein Raum- und Funktionsprogramm des gesamten Projektes aufgestellt. Die bauliche Gestaltung wurde vom Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau den Architekten Wilhelm Legler und Prof. Fritz Purr übertragen. Für den Bau und die Einrichtung des Reaktorgebäudes (mit Ausnahme des Reaktors selbst) und der Laboratorien sind ausschließlich die Angestellten des Atominstitutes und die den Bau beaufsichtigenden und leitenden Funktionäre der Bundesgebäudeverwaltung 1 verantwortlich. Nach etwa einjähriger Bautätigkeit wurde die Dachgleiche erreicht und im Frühjahr kam der Innenausbau in Gang. Die Installation der Innenteile des Reaktors (Core mit den Brennstoffelementen, Regeleinrichtung) wurde nach vollkommener Fertigstellung der Reaktorhalle im Sommer dieses Jahres begonnen.

Der folgende Bericht über das Atominstitut gibt eine Beschreibung des Reaktors und der Laboratorien und eine Vorschau auf den Unterrichts- und Forschungsbetrieb, den der Berichterstatter mit den wissenschaftlichen Mitgliedern des Institutes beabsichtigt.

Die Planung des Hochschulreaktorprojektes wurde

im Herbst 1957 begonnen. Damals bestand das Arbeitsteam aus dem Berichterstatter und Dr. GERHARD KAINZ, der gerade von einem neunmonatigen Aufenthalt in den Vereinigten Staaten zurückgekehrt war, wo er zusammen mit Dr. HERMANN STIPPEL den Lehrgang an der "Internationalen Schule für Kernwissenschaft und Kerntechnik" am Argonne-Laboratorium absolviert hatte. Dr. Kainz hat an der Gestaltung der Laboratorien insbesondere für Physik einen wesentlichen Anteil. Seine wertvolle Arbeitskraft ging dem Institut durch ein Bergunglück verloren, dem er zusammen mit Dr. Stippel im Oktober 1959 zum Opfer fiel. Beiden Mitgliedern des Institutes, denen es nicht beschieden war, verwirklicht zu sehen, was sie auf dem Papier geplant hatten, wird das Atominstitut ein bleibendes Andenken bewahren. Im Laufe des Jahres 1958 vermehrte sich der Stab der Wissenschaftler um Dr. Ortwin Bobleter, als Chemiker, der gleichfalls den Argonne-Lehrgang absolviert hatte, Dipl.-Ing. Dr. techn. HARALD WEISS, der einen Reaktorlehrgang in Harwell besucht hatte und später in den USA die Lizenz für den Betrieb des TRIGA-Mark-II-Reaktors erwarb, als Elektrotechniker und Elektroniker, Dr. H. Stippel, über dessen tragisches Ende schon berichtet wurde, und Dozent Dr. Otto HITTMAIR, als theoretischen Physiker; im Jahre 1959 kamen Dr. KARL BUCHTELA, als Chemiker, Dr. Walter Schwertführer, als Experimentalphysiker und Nachfolger von Dr. Kainz, und Dr. Jo-HANN HEJTMANEK, als Mathematiker; 1961 kamen noch Dr. Erich Tschirf, als Strahlenschutzphysiker, und Dr. Bensch, als weiterer Physiker. Derzeit besteht der wissenschaftliche Stab aus acht Mitgliedern mit vier technischen Hilfskräften, die den Betrieb des Reaktors und die Sparten Reaktor- und Neutronenphysik, Radiochemie, allgemeine Chemie, Isotopentechnik, Elektrotechnik und Elektronik der nuklearen und anderen Meßgeräte, Strahlenschutz zu betreuen haben werden und zum Teil schon bearbeiten. Ein Vergleich mit anderen bereits bestehenden Laboratorien ähnlicher Größe zeigt, daß diese Zahl für die volle Ausnutzung des Reaktors und der Laboratorien unzureichend ist. Zur Durchführung des experimentellen und theoretischen Programms, das am Schluß dieses Berichtes mitgeteilt wird, ist etwa eine Verdreifachung der Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter erforderlich.

#### Aufgaben des Atominstitutes in Gegenwart und Zukunft

Von F. REGLER, Wien

DK 621.039.51: 616-001.28: 621.039.55

Die österreichischen Hochschulen verfügen über den in diesem Sonderheft ausführlich beschriebenen Reaktor TRIGA MARK II, sowie über zwei Strahlrohre des Swimmingpool-Reaktors in Seibersdorf. Durch diese im höchsten Maße dankenswerte Erweiterung unserer modernen Forschungsmöglichkeiten könnte jedoch leicht der Anschein erweckt werden, als ob mit dem Betrieb eines Forschungsreaktors allein die Forderungen der Atomforschung befriedigt wären.

Daß dem keineswegs so ist, beweisen die großen Anlagen der verschiedenen Hochschulinstitute in aller Welt und insbesondere die des CERN (Europäische Organisation für Kernforschung) in Genf. Es ist selbstverständlich, daß in Österreich Physiker und Ingenieure auf dem Gebiet der Reaktortechnik ausgebildet werden müssen. Wenn auch Österreich für die nächsten Jahre über genügend ausbaufähige Wasserkräfte verfügen wird, so wird der Bau von Wasserkraftwerken doch immer kostspieliger und es ist vor allen Dingen Vorsorge für die Zeit zu treffen, in der weder der Ausbau von Wasserkraftwerken kaufmännisch tragbar sein, noch auch genügend billiger Brennstoff für kalorische Kraftwerke zur Verfügung stehen wird. Außerdem geht ja die Tendenz der modernen Technik allmählich dahin, die fossilen Brennstoffe nicht mehr zur Erzeugung kalorischer Energie zu verwenden, so daß Kraftwerksreak-

toren in der Zukunft auch in Österreich in Betrieb genommen werden müssen. Dies ist natürlich nur möglich, wenn Österreich auf genügend ausgebildete Fachkräfte zurückgreifen kann und auch eigene konstruktive Ideen hervorzubringen und Verbesserungen vorzunehmen imstande ist.

Unter diesem Gesichtspunkt ist es durchaus verständlich, daß am Atominstitut der österreichischen Hochschulen ein Reaktor aufgestellt wird, und daß dieses Institut, das allen Hochschulen dient, der Technischen Hochschule in Wien zugeteilt wurde. Die Technischen Hochschulen werden ja dazu berufen sein, in erster Linie Ingenieure heranzubilden, die zum wirtschaftlichen Betrieb von Reaktoren eingesetzt werden können.

In diesem Heft wird aber auch eingehend darauf hingewiesen, daß der Reaktor, der ja vorerst eine Neutronenquelle darstellt, zur Isotopenerzeugung dient. Die Verwendung der strahlenden Isotope in Medizin, Biologie, Physik, Chemie und Technik ist ja mannigfaltig. Allgemein ist bekannt, daß sowohl die Röntgenstrahlen als auch das Radium in der medizinischen Therapie, insbesondere bei der Krebsbehandlung eine verbreitete Rolle spielen. Es kann nicht Aufgabe des Physikers sein, die biologischen und medizinischen Zwecke der Isotope zu schildern. Vielleicht ist es aber doch interessant zu erfahren, daß das Kobaltisotop 60 eine γ-Strahlung aussendet, deren Zusammensetzung der der y-Strahlung des Radiums qualitativ ähnlich ist. Dabei ist das Kobalt 60 im Reaktor jederzeit in größerer Menge herstellbar, so daß Kobaltbestrahlungen mit großer Intensität an verschiedenen medizinischen Instituten durchgeführt werden können, ohne daß dafür der hohe Preis für Radium bezahlt werden muß. Da die Halbwertszeit des Kobalt 60 bekanntlich 5,2 Jahre beträgt, ist der Ersatz nur relativ selten notwendig. So ist die sogenannte Kobaltkanone ein wichtiger therapeutischer Bestandteil der Bestrahlungsinstitute geworden.

Aber auch eine große Zahl anderer Isotope, wie z. B. die Jod- oder Goldisotope werden in der Medizin dringend benötigt. Während radioaktives Jod zur Behandlung des Schilddrüsenkrebses und seiner Metastasen spezifisch geeignet ist, wird radioaktives Gold zur Behandlung von Bronchialcarzinomen oder von Speiseröhrenkrebs verwendet. Die Untersuchungen über die Ausscheidungen des Körpers, über den Kreislauf u. ä. können in der Medizin ebenfalls mit Isotopen durchgeführt werden. Dabei müssen oft so kurzlebige Isotope Verwendung finden, daß es unmöglich ist, sie aus dem Ausland zu beziehen, da sie bis zu ihrem Eintreffen am Verwendungsort bereits den größten Teil ihrer Strahlungsintensität verloren haben. Dies ist auch der Grund, warum man den Reaktor Triga Mark II in Amerika in Spitälern einbaut, um diese Isotope sofort nach ihrer Erzeugung zur Verfügung zu haben.

Für alle diese Zwecke ist es also nötig, daß sich der Reaktor zumindest in der Nähe der medizinischen Forschungsinstitute befindet. Die  $\gamma$ -Strahlung des Kobalt 60 hat aber auch für die Materialprüfung große Bedeutung, da es mit ihrer Hilfe möglich ist, dicke Stahlkonstruktionen und Schweißungen zu durchstrahlen und auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen. Will man hingegen mit einer weniger durchdringenden Strahlung Werkstoffprüfungen vornehmen, so verwendet man

zweckmäßigerweise das Iridiumisotop 192, das einer Röntgenstrahlung von etwa 500 keV entspricht. Seine geringe Halbwertszeit von 74 h spielt dann keine Rolle, wenn man über einen Reaktor verfügt, der das Isotop wiederherzustellen vermag. Sehr wahrscheinlich wird auch das Thuliumisotop 170 mit einer Halbwertszeit von 127 Tagen besonders in der medizinischen Diagnostik eine große Bedeutung erlangen. Dieses Isotop sendet eine Röntgenstrahlung aus, die etwa 80 keV entspricht, wie sie in der medizinischen Diagnostik durchschnittlich verwendet wird. Es wäre also durchaus denkbar, daß ein Arzt das Thuliumisotop 170 entsprechend strahlengeschützt in seiner Aktentasche mit sich führt und am Krankenbett sofort eine Röntgenaufnahme herstellen kann.

Daß die Isotope in der Technik auch sonst besondere Bedeutung haben, wie etwa bei der Indikatormethode, bei der Untersuchung der Verformungsvorgänge, bei der Dickenmessung von Überzugstoffen, bei der Füllstandsmessung und ähnlichen optisch nicht erfaßbaren Größen ist ebenso bekannt, wie die Verwendung der Isotope bei sogenannten Ortungen. Man versteht darunter die Messung der Schlamm- und Sandbewegung auf dem Boden von Seen, die sowohl wegen der Gefahr der Verschlammung der Flußmündungen als auch derzeit im Kraftwerksbau wegen der Tiefenänderung der Stauseen von Bedeutung ist. Zu diesem Zweck nimmt man borfreies Glas, das im Reaktor aktiviertes Skandium gelöst enthält und mit dem Sand mitwandert. Durch Wellenbrecher muß dann die Flußrichtung der Flüsse so korrigiert werden, daß keine Schlammberge mehr auftreten.

Diese Aufzählung der Anwendung der Isotope in Biologie, Medizin und Technik ist keineswegs vollständig. Sie ist vielmehr nur ein Bruchteil der vielen Anwendungsmöglichkeiten der strahlenden Materie. Es soll aber auch nicht Aufgabe dieses Aufsatzes sein, über die Bedeutung der Isotope zu schreiben, sondern es soll nur gezeigt werden, daß der Reaktor außer zur Heranbildung von Reaktoringenieuren auch bei der Isotopenerzeugung seinen vollen Einsatz finden wird.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Neutronen findet sich in der Festkörperphysik, da zahlreiche Metalle sowie Kunststoffe unter Einfluß der Neutronenbestrahlung grundsätzliche Verhaltungsänderungen zeigen. Zu diesem Zweck besitzt ja das Atominstitut eine eigene chemische Abteilung, die sich auch mit der Metallurgie der Festkörper befassen wird. Ein spezielles Aufgabengebiet eröffnet sich dem Physiker in der Neutronenbeugung. Bekanntlich ist die Röntgenfeinstruktur-Untersuchung, also die Strukturuntersuchung mit Hilfe der Röntgeninterferenzen in Österreich bereits seit jeher besonders gepflegt worden. Es muß hier nur auf die Namen F. HALLA, F. LIHL, H. MARK, H. No-WOTNY und E. SCHMID verwiesen werden. Auch der Verfasser dieses Aufsatzes hat sich mit diesem Forschungsgebiet seit Jahrzehnten intensiv befaßt. Wie jede Forschungsrichtung Vorteile und Mängel aufweist, so sind naturgemäß auch die durch die Röntgenfeinstruktur-Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse beschränkt. Mit Hilfe der Röntgenstrahlen ist es beispielsweise nur schwer möglich, Beugungsdiagramme leichter Atome zu erhalten, wenn in dem betreffenden Kristallgitter zugleich auch schwere Atome vorkommen. So ist insbesondere die Lokalisation von Wasserstoffatomen mit Röntgenstrahlen kaum möglich. Ebenso ist das Studium des magnetischen Momentes der Gitteratome mit Röntgenstrahlen oder Elektronenstrahlen nicht durchführbar. Ferner sind gegenüber der hohen Energie der Röntgenstrahlen die Energiequanten der thermischen Schwingungen in einem Kristall klein und vernachlässigbar. Dennoch wäre ihre Erfassung wichtig, da die thermischen Schwingungen mit den elastischen Eigenschaften eines Festkörpers verknüpft sind. Gerade diese durch die Beugung von Röntgen- und Elektronenstrahlen nicht auszufüllenden Lücken können durch die Beugung von Neutronenstrahlen an Festkörpern überbrückt werden. Solche Neutronenstrahlen geeigneter Energie stehen im Reaktor in ausreichendem Maße zur Verfügung.

Um den Vorgang der Neutronenstrahlenbeugung zu erläutern, muß man überlegen, daß in einem Reaktor Neutronen der verschiedensten Geschwindigkeiten vorhanden sind, daß also ein Neutronenstrahlenspektrum vom Reaktor geliefert wird. Nach der Beziehung von DE BROGILE kann man bekanntlich jedem bewegten Teilchen der Masse m und der Geschwindigkeit v eine

Wellenlänge  $\lambda$ , entsprechend der Formel:  $\lambda = \frac{h}{mv}$ , zu-

ordnen. In dieser Formel ist h das Planksche Wirkungsquantum. Man unterscheidet im Reaktor schnelle Neutronen mit einer Energie von keV bis MeV, mittelschnelle Neutronen von  $100 \, \mathrm{eV} \dots 1 \, \mathrm{keV}$ , epithermische Neutronen von  $0.025 \, \mathrm{eV} \dots 100 \, \mathrm{eV}$  und thermische Neutronen mit einer Energie von  $0.025 \, \mathrm{eV}$  abwärts. Die mittlere Geschwindigkeit der thermischen Neutronen beträgt ungefähr  $2\,200\,\mathrm{m/s}$ . Die den einzelnen Neutronenenergien entsprechenden Wellenlängen und Quantenenergien sind in der nachfolgenden Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I. Geschwindigkeit und Wellenlänge von Neutronenstrahlen in Abhängigkeit von ihrer Energie<sup>1</sup>)

Energie der	Geschwindigkeit	de Broglie-Wellen-
Neutronen	der Neutronen	länge d. Neutronen
(eV)	(cm/s)	(cm)
$ \begin{array}{c} 10^{-4} \\ 10^{-3} \\ 10^{-2} \\ 10^{-1} \end{array} $ $ \begin{array}{c} 1 \\ 10^{2} \\ 10^{4} \\ 10^{6} \end{array} $	$\begin{array}{c} 1,383 \cdot 10^{4} \\ 4,374 \cdot 10^{4} \\ 1,383 \cdot 10^{5} \\ 4,374 \cdot 10^{5} \\ 1,383 \cdot 10^{6} \\ 1,383 \cdot 10^{7} \\ 1,383 \cdot 10^{8} \\ 1,383 \cdot 10^{9} \end{array}$	$\begin{array}{c} 2,860 \cdot 10^{-7} \\ 9,045 \cdot 10^{-8} \\ 2,860 \cdot 10^{-8} \\ 2,860 \cdot 10^{-9} \\ 9,045 \cdot 10^{-9} \\ 2,860 \cdot 10^{-10} \\ 2,860 \cdot 10^{-11} \\ 2,860 \cdot 10^{-12} \end{array}$

1) Aus Wolfgang Riezler: Einführung in die Kernphysik.

Zur Orientierung sei erwähnt, daß den thermischen Neutronen von  $\frac{1}{25}$  eV eine Temperatur von  $300\,^{\circ}$ K, jenen von 1 eV eine solche von  $7\,700\,^{\circ}$ K entspricht. Wie man der Tabelle entnehmen kann, haben die thermischen Neutronen ungefähr die gleiche Wellenlänge wie die Röntgenstrahlen, die zur Feinstruktur-Untersuchung verwendet werden. Man kann daher durch Kristallbeugung die langsamen Neutronen monochro-

matisieren und ihre physikalischen Eigenschaften, wie z. B. ihren Absorptionsquerschnitt, studieren. Man kann aber auch die monochromatisierten Neutronen zur Beugung an weiteren Kristallen und damit zu der oben bereits angeführten Kristallstrukturanalyse verwenden. Der im Reaktor der österreichischen Hochschulen vorhandene Fluß von 1012 n/cm2 ·/s ist allerdings für die Neutronenbeugung noch relativ gering, so daß Strukturuntersuchungen mit Erfolg wahrscheinlich nur an Einkristallen, nicht aber an Vielkristallen vorgenommen werden können. Für diese Zwecke wird eines der den Hochschulen zugedachten Strahlrohre des Reaktors in Seibersdorf zur Verfügung gestellt werden müssen. Der Reaktor gestattet auf dem Gebiet der Strukturanalyse sowie der Untersuchung der magnetischen Eigenschaften der Materie Forschungen, die ohne ihn nicht möglich wären. Um allerdings speziell die metallkundlichen Untersuchungsmöglichkeiten voll auszunützen, wäre es notwendig, eine Helium-Verflüssigungsanlage im Atominstitut anzuschaffen, um die Forschungen bei tiefsten Temperaturen vornehmen zu können.

Wie schon anfangs erwähnt, ist der Reaktor nur ein Gerät für die Atomforschung. Man muß sogar sagen, daß er heute schon vielmehr ein technisches Gerät ist als ein physikalisches, und daß er für den Physiker als Neutronenquelle in Betracht kommt. Daß der Reaktor nicht die hauptsächlichste Forschungsquelle für kernphysikalische Untersuchungen darstellt, geht schon daraus hervor, daß Otto Hahn die Kernspaltung erst im Jahre 1938 entdeckt hat, während die Atomforschung durch die Arbeiten auf dem Gebiet der Radioaktivität schon bis zum Jahr 1896, also bis zu BECQUEREL zurückreicht. Dies war auch der Grund, warum Österreich durch das Radiuminstitut auf dem Gebiet der Kernphysik führend war, bis man erkannte, daß die aus natürlichen radioaktiven Quellen stammenden Geschosse, also die natürlichen a-, \beta- und \gamma-Strahlen relativ zu geringe Energien haben, um moderne Forschungen mit Erfolg zu betreiben. Insbesondere war es nicht möglich, mit natürlichen a-Strahlen schwere Kerne zu beschießen, da die Energie der Primärstrahlung zu gering ist, um an die schweren Kerne überhaupt heranzukommen, geschweige denn in sie einzudringen. Dies führte zur Konstruktion von künstlichen Teilchenbeschleunigern.

Die ersten Teilchenbeschleuniger waren elektrische Höchstspannungsanlagen. Solche Beschleunigungsgeräte sind auch heute noch wertvolle Forschungsmittel und werden besonders in Form von Van-de-Graaff-Generatoren bis zu etwa 10 MV industriell hergestellt. Als Teilchenbeschleuniger für Protonen und Deuteronen kommt neben dem Van-de-Graaff-Generator der Kaskadengenerator in Frage. Man kann mit diesen hohen Spannungen sowohl Elektronen als auch Protonen und Deuteronen beschleunigen und die dabei auftretenden Reaktionen studieren. Das Wesentlichste bei diesen Geräten ist die Notwendigkeit, ihre Spannung genau messen zu können, um über die Energieverhältnisse volle Klarheit zu besitzen. Bald jedoch erkannte man, insbesondere durch die Höhenstrahlenforschung, daß viel höhere Energien notwendig sind, um die entsprechenden Untersuchungen und Experimente durchführen zu können, als dies mit Hochspannungsgeneratoren möglich ist. Man hat allen Grund zur Annahme, daß man die Natur der Kräfte zwischen den Nukleonen, also die Kernkräfte, durch die Mesonenforschung klären kann. Die Mesonen waren bis vor etwa 15 Jahren nur als Sekundärprodukte der kosmischen Strahlung der Untersuchung zugänglich und wurden in ihr zuerst gefunden. Will man aber näheres über diese höchst kurzlebigen Teilchen erfahren, so ist es nicht zweckmäßig, sie in der Höhenstrahlung, etwa wie in einem Observatorium als Zufallserscheinung zu beobachten, sondern es entspricht dem Sinn der physikalischen Forschung, Mesonen in Laboratorien herzustellen und ihre Eigenschaften sowie ihre Wechselwirkung mit der Materie unter reproduzierbaren und kontrollierbaren Bedingungen zu untersuchen. Zweifellos war die Mesonenforschung eine der Hauptantriebskräfte für den Bau von Teilchenbeschleunigern.

Da jedoch, wie schon erwähnt, die Höchstspannungen aus isolationstechnischen Gründen mit etwa 10 MV ihre obere Grenze erreicht haben, wird zur größeren Teilchenbeschleunigung der Linearbeschleuniger oder auch das Zyklotron verwendet. Um die Massenveränderlichkeit bei höheren Beschleunigungen zu berücksichtigen, werden die modernen hochenergetischen Geräte als Synchro-Zyklotrons gebaut. Solche Synchro-Zyklotrons von relativ kleinen Dimensionen können bis etwa 600 MeV industriell bezogen werden. Für noch höhere Energien, wie etwa für 28 GeV beim CERN in Genf, sind allerdings äußerst kostspielige Sonderanlagen notwendig. Es ist ja bekannt, daß der Durchmesser der Beschleunigungsbahn in Genf 200 m beträgt und daß ein Proton in diesem Strahlrohr fast Lichtgeschwindigkeit erhält und dabei einen Weg zurücklegt, der der halben Entfernung Erde-Mond entspricht. Mit Hilfe dieser Geräte ist es heute möglich, die Wechselwirkung der einzelnen Elementarteilchen untereinander zu studieren, die Materialisation der Strahlung und die Zerstrahlung der Materie zu erfassen, Teilchen und Antiteilchen künstlich herzustellen und beispielsweise auch Hyperonen zu erzeugen, deren Masse die der Nukleonen weit übertrifft, wie aus der nachstehenden Tabelle II hervorgeht.

Es ist klar, daß ein kleiner Staat wie der österreichische nicht in der Lage ist, ein großes Beschleunigungsgerät anzuschaffen und zu betreiben, weshalb Österreich auch dem CERN beigetreten ist. Hingegen ist es notwendig, sich an der Atomforschung wenigstens soweit zu beteiligen, daß Österreich den Rang eines Kulturstaates noch behalten kann. Es ist selbstverständlich, daß die großen Forschungsstätten Europas an der Mitarbeit österreichischer Wissenschaftler nur dann interessiert sind, wenn diese Wissenschaftler im Inland eine moderne, zeitgemäße Ausbildung erfahren haben, und wenn sie die Probleme erkennen, deretwegen sie die große Maschine in Anspruch nehmen wollen. Dies müssen solche Probleme sein, für die die Mittel in der Heimat nicht ausreichen. Wenn aber im Inland überhaupt keine Atomforschung in dem oben angeführten Sinn erfolgt, dann sieht die heranwachsende Generation auch keine diesbezüglichen Probleme und ist ihre Mitarbeit bei den großen Forschungsfragen der Gegenwart nicht mehr erwünscht oder nicht mehr möglich. Es wird daher eine der dringendsten Aufgaben des Atominstituts der österreichischen Hochschulen sein, einen Teilchenbeschleuniger mit den dazugehörigen

Tabelle II. Die derzeit bekannten Elementarteilchen und ihre wesentlichen Eigenschaften<sup>2</sup>)

		1 7			
Teilchen- gruppe	Teil- chen	Anti- teil- chen	Masse in me	Spin in h/2π	Lebensdauer in s
Leptonen	$\gamma (=h\nu)$		0	1	$\infty$
	ν <sub>0</sub>	<u>v</u> <sub>0</sub>	0	1/2	00
	e+	0	1	1/2	$\infty$
	μ+	μ_	207	1/2	2,22 · 10-6
Mesonen	π+	π_	273	0	2,65 · 10-8
	π°		264	0	$<4\cdot 10^{-16}$
	$K_{\pi 3}^+$	$K_{\pi 3}^-$	966	0	1,2 · 10-8
	$K_{\pi 3}^{\circ}$		966	0	
	$K_{\pi 2}^+$	$K_{\pi 2}$	966	0	1,2 · 10-8
	$\mathbf{K}_{1}^{\circ}$		976	0	0,99 - 10-10
	$K_{\mu 2}^{+}$	$K_{\mu 2}^-$	966	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
	$K_{\mu 3}^{+}$	$K_{\mu 3}^-$	966	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
	$K_{\mu 3}^{\circ}$		966	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
	$K_{\beta 3}^{+}$	$K_{\beta 3}$	965	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
	$K_{\pi\gamma}^+$	$K_{\pi\gamma}^-$	966	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
	$K_{\beta 2}^{+}$	$\overline{K_{\beta 2}}$	966	0	$1,22 \cdot 10^{-8}$
Nukleonen	p .	$\overline{\mathbf{p}}$	1 836	1/2	~
2 7	n	n	1 838	1/2	702
Hyperonen	Λ°	$\overline{\varLambda}^{\circ}$	2 182	1/2	2,6 · 10-10
	$\Sigma^+$	$\overline{\Sigma}^+$	2 327,4	1/2	0,79 · 10-10
	$\Sigma^{\circ}$		2 329	1/2	≪ 10-11
	Σ		2 341,3	1/2	1,72 · 10-10
	$\mathcal{E}^-$		2 585	1/2	$\approx 10^{-10}$
	E°		2 595	1/2	$\approx$ 1,5 · 10 <sup>-10</sup>

<sup>2</sup>) Zusammengestellt aus: G. Joos: Lehrb. d. Theor. Phys., M. v. Ardenne: Tabellen zur angew. Kernphys., HÖCKER, WEIMER: Lexikon d. Kern- und Reaktortechnik.

Apparaten anzuschaffen, um so wenigstens an den Grundzügen der Forschungsaufgaben der Welt teilnehmen zu können.

Neben den angeführten Teilchenbeschleunigern für Protonen und Deuteronen zum Zwecke der Atomforschung ist es aber noch nötig, einen Teilchenbeschleuniger für Elektronenstrahlen zu besitzen. Ganz abgesehen von den kernphysikalischen Forschungsvorhaben dienen die Elektronenbeschleuniger zur Erzeugung von kurzwelligen y-Strahlen, also von Röntgenstrahlen, deren Wellenlänge viel kleiner ist als die der natürlichen Radiumstrahlung oder der künstlichen Isotope. Gleichzeitig emittieren diese Maschinen aber auch Elektronenstrahlen, die ihrerseits wieder ohne den Umweg über die y-Strahlung Verwendung finden können. Zur Erzeugung solcher schnellen Elektronen bedient man sich wieder entweder der Linearbeschleuniger oder des Betatrons. Gerade das letztgenannte Gerät, das nur relativ geringe Kosten verursacht, fehlt in Österreich besonders. Ist es doch nicht nur in der Forschung, sondern auch in der medizinischen Therapie für die Bestrahlung tiefliegender Carzinome ebenso verwendbar wie in der Materialprüfung. Während die ausländische Industrie großdimensionierte Konstruktionsteile mit den Röntgenstrahlen des Betatrons untersucht, um so genauest geprüfte Qualitätswaren liefern zu können, muß Österreich auf die Durchführung solcher Prüfungen verzichten. Aber auch die Medizin empfindet das Fehlen eines Betatrons schmerzlich, wenn man bedenkt, daß gerade Österreich, das Land, in dem Prof. Dr. Guido Holzknecht und andere Radiologen führend tätig waren, von der Verwendung moderner therapeutischer radiologischer Mittel ausgeschlossen ist.

Es ist selbstverständlich, daß die Elektronenstrahlen und die γ-Strahlen eines Betatrons sowohl in der Medizin als auch in der Werkstoffprüfung nur dann nutzbringend bzw. sinngemäß angewandt werden können, wenn die entsprechenden Physiker vorhanden sind, die für den Betrieb, für die Messung, für die Dosimetrie und die richtige Auswahl der Strahlen verantwortlich sind. Daher ist es vor allen Dingen nötig, daß ein solcher Strahlengenerator in einem Atominstitut für die physikalische Forschung aufgestellt wird. Es muß besonders betont werden, daß schon die kleinsten Staaten sich der medizinischen Vorteile des Betatrons bedienen und daß Österreich zu den ganz wenigen Ländern gehört, die dieses Gerät noch nicht besitzen.

Wenn man also von einem Atominstitut der österreichischen Hochschulen spricht, so erscheint dieser Titel wohl nur dann gerechtfertigt, wenn dieses Institut nicht nur einen Reaktor mit Zubehör enthält, sondern wenn es zumindest auch eine Heliumverflüssigungsanlage, einen Teilchenbeschleuniger und ein Betatron mit den entsprechenden Meß- und Zusatzeinrichtungen aufzuweisen hat. Natürlich ist es für Österreich schwierig, diesen Nachholbedarf in rascher Zeit durchführen zu müssen, den andere Staaten seit 1945 langsam aufbauen konnten, während wir erst nach Abschluß des Staatsvertrages an die Errichtung eines Atominstituts denken durften. Um so größer ist die Verantwortung der österreichischen Physiker, die Öffentlichkeit nicht im unklaren darüber zu lassen, daß die moderne physikalische Forschung eine, wenn auch teure Verpflichtung darstellt, der wir uns nicht entziehen können, wenn wir den Titel eines Kulturstaates nicht verlieren wollen. Aber auch die akademische Jugend hat ein Recht auf zeitgemäße und moderne Ausbildung. Es ist unmöglich, von einer physikalisch vollkommenen Ausbildung der studierenden Jugend zu sprechen, ohne ihr den Zugang zu modernen Geräten zu geben, auch wenn diese Geräte kostspielig sind, und hierfür besondere, teuere Neubauten benötigt werden.

#### Allgemeine Gesichtspunkte bei Planung und Bau des Atominstitutes

#### Auswahl des Baugeländes und Beschreibung des Institutsgebäudes

Von G. ORTNER und Mitarbeitern¹), Wien

DK 621.039.572 (436.14): 621.039.583

Wie bereits erwähnt, sollte das Gelände für den Neubau des Atominstitutes den Wiener Hochschulen möglichst nahe liegen und zudem genügend Baufläche

aufweisen, daß spätere Erweiterungsbauten errichtet werden können.

Die Wahl fiel fast zwangsläufig auf den Platz des früheren Fouragedepots an der Ecke Stadionallee und Schüttelstraße am praterseitigen Ende der Stadionbrücke über den Donaukanal. Der Platz ist von den nächsten Häusern des zweiten Wiener Gemeindebezirkes etwa 250 m entfernt, von dem großen Gemeindebau Hanuschhof beträgt die kleinste Entfernung zum Reaktor etwa 250 m. Mit Rücksicht darauf, daß der im Atominstitut zur Aufstellung gelangende Reaktor unter den vorgesehenen Bedingungen einen absolut sicheren Betrieb gewährleistet, konnte die Aufstellung in der Nähe dichtbevölkerter Stadtteile ohne Bedenken durchgeführt werden. Das wird im Abschnitt, der über die Eigenschaften des Reaktors berichtet, ausführlich begründet werden. Der Aufstellungsort ist in der Planskizze (Abb. 1; Der Pfeil rechts weist auf

das Gelände des Atominstituts) eingezeichnet. Für den Prater besteht Bauverbot. In der unmittelbaren Umgebung des Areals des Atominstituts von 14 000 m² befinden sich nur Gartensiedlungen mit Holzhütten, die nicht als permanente Wohnungen benützt werden. Auch später zu errichtende permanente Wohnhäuser am stadtseitigen Ufer des Donaukanals können keine kleinere Distanz vom Atomreaktor haben als etwa 250 m.

#### 1) Geologie

Das Reaktorgelände gehört zum früheren Überschwemmungsgebiet der Donau. Die Oberfläche besteht aus Schlamm, der abwechselt mit Lehm und Sandlinsen, die durch häufigen Gartenbau im sandigen Boden hineingeschwemmt worden sind. Die Erdbodenverhältnisse sind in Tabelle I zusammengestellt. Sie beruhen auf Untersuchungen von Bohrlöchern, die zum Zwecke einer Brückenfundierung etwa 120 m westlich des Reaktor-

geländes angelegt, und auf Untersuchungen von Wasserlöchern, die in einer Entfernung von etwa 450 m nordöstlich des Geländes gebohrt wurden.



Abb. 1. Lage des Atominstitut-Neubaues in Wien

Tabelle I

	Brückenfundierung 120 m W	Wasserlöcher 450 m NO
jüngste Fluß- ablagerungen	0 3 m blauer Lehm	02,4 m feiner Sand
Quartär	bei . 5,3 m Grund- wasser 8,3 m Sand und Kies 10,5 m Kies grob	bei 2,5 m Grund- wasser 8,0 m grober Kies und Sand
Pliozen	15,7 m feiner Sand	15,7 m feiner Sand 16,5 m blauer Lehm

Bis ungefähr 500 m vorherrschend Lehm mit gelegentlichen Einschüben von Sand.

Mesozoischer Grund bei etwa 2600 m.

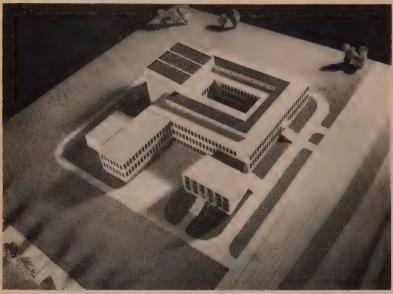
#### 2) Hydrologie

Die in Tabelle I angegebene Aufstellung kann bezüglich der Grundwasserverhältnisse wie folgt ausgewertet werden:

Die jüngsten Flußablagerungen sind wasserundurchdringlich, so lange es sich überwiegend um Lehm, durchdringlich zu einem gewissen Ausmaße, wo es sich

<sup>1)</sup> Als Mitarbeiter des Institutes zeichnen Dr. Ortwin Bobleter, Dr. Karl Buchtela, Dr. Gerhard Kainz †, Dr. Walter Schwertführer, Dr. Hermann Stippel †, Dr. Erich Tschirf und Dipl.-Ing. Dr. Harald Weiss. Die Beiträge über die geologischen und hydrologischen Verhältnisse der Baustelle verdanken wir Herrn Prof. Dr. Küpper, Direktor der Geologischen Bundesversuchsanstalt, und jene über die meteorologische und seismologische Lage der Baustelle den Herren Prof. Dr. Steinhauser und Prof. Dr. Toperczer,

um Sand handelt. Nach starkem Regen steht das Wasser teils an der Oberfläche und teils in die Oberfläche eingetaucht. Praktisch steht kein Grundwasser in dieser obersten Schicht.



wichtigste wassertragende Körper dieses Gebietes, Alle Gärten nehmen ihr Wasser aus dieser Quelle. Dieser Wasservorrat wird nie erschöpft, er scheint nicht mit

Abb. 2. Modellaufnahme des Atominstituts Der quartäre Sand und Kies (bei 3...10 m) ist der



Abb. 3. Das Atominstitut im Pratergelände. Bauzustand März 1961

dem Donaukanal in Verbindung zu stehen, da dieser sein Bett gut abgedichtet hat.

Der darunterliegende Pliozen wirkt als undurchdringlicher Boden des wassertragenden Kies-Sandkom-

plexes. Die Sandkörper in den höheren Schichten sind außerordentlich feinkörnig und vollständig mit Wasser durchsetzt. Sand wird häufig durch Bohrlöcher hochgeschwemmt. Der Lehm ist praktisch trocken und sehr

> dicht. Diese ganze Gruppe dehnt sich bis zu einer großen Tiefe aus, eine vertikale Zirkulation findet nicht statt.

Der hydraulische Gradient für den Grundwasserfluß im Kieskörper wird mit etwa NW-SO angenommen, obwohl keine modernen Bestimmungen vorhanden sind.

Der quartäre Sandkieskomplex wird in der unmittelbaren Nachbarschaft als Quelle für lokale Wasserbenutzung verwendet, meist für Gartenzwecke, nicht aber als Trinkwasser. Der Abfluß von verseuchtem Wasser aus dem Reaktorgelände muß so bewerkstelligt werden, daß eine Verseuchung des Grundwasser-Kieskörpers vermieden wird. Ein Abfluß in den benachbarten Donaukanal, der normal 108 m³/s Wasser trägt, kann technisch leicht bewerkstelligt werden. Der Donaukanal erreicht den Donaustrom etwa 6,5 km stromabwärts vom Reaktorgelände, wo die Donau normal Wasser von 1 921 m³/s trägt. Vom Reak-

torgelände stromabwärts bis zur österreichisch-tschechischen Grenze gibt es keine Siedlungen, die Donauwasser für Trinkzwecke verwenden. Es scheint, daß keine direkte Infiltration aus dem Donaukanal in das

> Grundwasser der Umgebung stattfindet. Da der Donaukanal auch bei niedrigem Wasser-100 m³/s trägt, und außerdem noch die meisten Abflußkanäle Wiens in den Donaukanal münden, bestehen keine Bedenken, verseuchte Wässer aus dem Reaktorgelände in den Donaukanal zu leiten.

#### 3) Geographische Lage des Gebietes

Das Gebiet der Stadionbrücke liegt am Donaukanal in vollkommen flachem Gelände am Ostrand des verbauten Stadtgebietes von Wien, etwa 3 km ostsüdöstlich vom Stadtzentrum (Stefansplatz) 157 m Seehöhe. Gegen Osten und Nordosten hin schließt ein vollkommen ebenes Gelände an, das jenseits der Praterauen und der Auen des nördlichen

Donauufers im Marchfeld sich ungefähr 40 km gegen Osten bis zu den Ausläufern der kleinen Karpaten und ungefähr 10 km gegen Norden bis zum Bisamberg erstreckt. Gegen Nordwesten stellt in 12 km Entfernung der 2 km breite Donaudurchbruch zwischen Bisamberg (361 m) und Leopoldsberg (423 m) die Verbindung zum ebenfalls flachen und weiten Tullnerfeld her. Im Westen grenzt in 10 km Entfernung der Ostabbruch des Wienerwaldes, der dort Gipfelhöhen von ungefähr 500 m erreicht, das verhältnismäßig flache und nur schwach gegen Osten hin ansteigende, verbaute Stadtgebiet von Wien ab. Im Süden zieht sich in 4 km Entfernung der westostwärts führende Hügelrücken des Wienerberges und des Laaerberges mit einer Höhe von

#### 4) Die meteorologischen Verhältnisse im Raum der Stadionbrücke

Großklimatisch gehört das Gebiet zum Wiener Becken und seine klimatischen Verhältnisse sind durch die langjährigen Beobachtungen der um 7 km weiter nordwestlich gelegenen Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien-Hohe Warte, 203 m, sehr genau bekannt. Die klimatischen Verhältnisse an der Stadionbrücke weichen nur unwesentlich von denen der

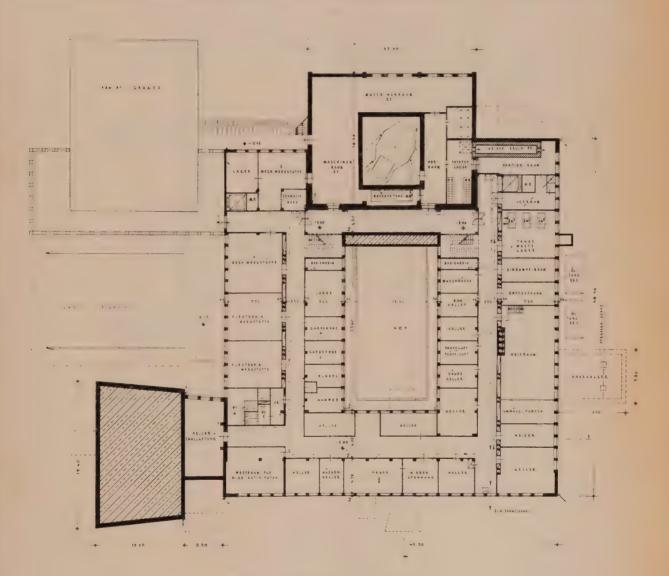
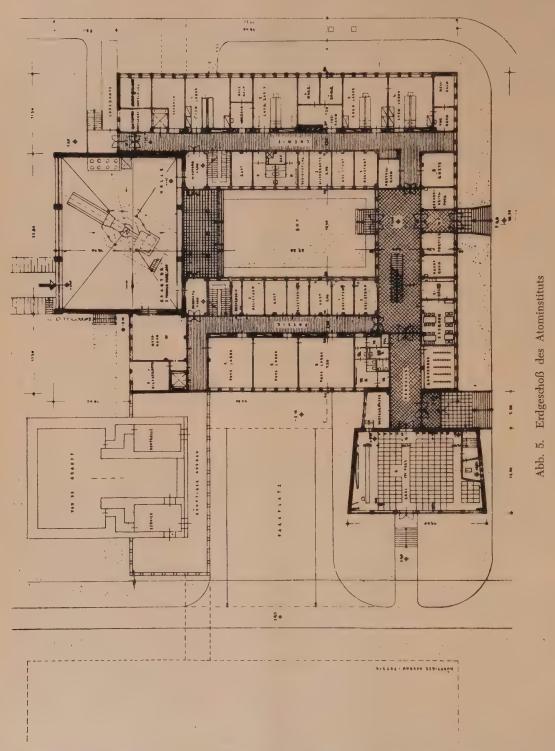


Abb. 4. Kellergeschoß des Atominstituts

255 m hin und stellt eine Schwelle gegen das südwärts vorgelagerte und weite Steinfeld dar. Auch gegen Südosten erhebt sich erst in 28 km das von Südwest gegen Nordost ziehende etwa 400 m hohe Leithagebirge, zwischen diesem und dem Stadionbrückengebiet liegt ungefähr in der Mitte ein flacher Hügelrücken mit einer höchsten Erhebung von 230 m. Diese geographischen Verhältnisse sind, wie später gezeigt werden wird, für die Beurteilung der Verfrachtungsmöglichkeit der Luftmassen aus dem Reaktorgebiet an der Stadionbrücke von wesentlicher Bedeutung.

Zentralanstalt auf der Hohen Warte ab und diese Abweichungen sind vor allem durch die um 45 m tiefere Lage, durch den Unterschied zwischen ebenem Flachland bei der Stadionbrücke und schwacher Hanglage an der Hohen Warte sowie durch den größeren Abstand vom Höhenzug des Wienerwaldes bedingt.

Im allgemeinen kann gesagt werden, daß die weitaus häufigsten Winde aus dem Quadranten von West bis Nord die Luftverunreinigungen rasch aus dem Gebiet der Stadionbrücke gegen Osten über weite Ebenen und aus dem dicht verbauten Stadtgebiet hinaustreiben können und dadurch selbst bei Inversionslagen auch für eine rasche Verteilung der Luftverunreinigungen sorgen. Die Winde aus dem Südostquadranten treiben zwar die Luftverunreinigungen über verbautes StadtWesten und Nordwesten hin über die vorgelagerte Ebene des Tullnerfeldes und der Donauniederung entweichen kann, wodurch dort auch eine Abfuhrmöglichkeit für Luftverunreinigungen gegeben ist, die aller-



gebiet und können sie bei den bei diesen Windlagen häufig vorkommenden niedrigen Inversionen durch den Stau am Wienerwald zum Teil auch zur Ansammlung über dem Stadtbereich bringen. Die häufigste Windrichtung aus dem Südostquadranten ist aber gerade gegen den Donaudurchbruch zwischen Leopoldsberg und Bisamberg gerichtet, wo die einzige Möglichkeit besteht, daß auch bei diesen Inversionslagen Luft gegen

dings wegen der Enge dieses Durchbruches doch auch zu einem gewissen Stau führen kann, wenn die Südostströmung nicht lebhaft genug ist.

#### 5) Seismologische Verhältnisse

Die seismische Gefährdung eines bestimmten Gebietes kann nur aus der Erfahrung, also aus der Beobachtung der seismischen Tätigkeit in dem betreffenden Gebiet während eines längeren Zeitraumes abgeleitet werden. Aus dem Beobachtungsmaterial kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Bebens, dessen Intensität in gewissen Grenzen liegt, als eine Wahrscheinlichkeit a posteriori abgeleitet werden.

Als Grundlage der Beurteilung wurden zunächst die lückenlosen seismischen Beobachtungen des Zeitraumes 1901 bis 1950 verwendet. Darüber hinaus stehen aber noch den Chroniken entnommene Angaben über größere

#### 6) Institutsbauten

Die Aufnahmen (Abb. 2 und 3) geben eine Übersicht über die Gesamtanlage des Atominstituts der Österreichischen Hochschulen. Die Räumlichkeiten sind um einen Hof mit den Abmessungen 12 × 23 m angeordnet. Die Reaktorhalle liegt im praterseitig gelegenen Flügel (NO) des Gebäudes. Das Laboratoriumsgebäude hat zwei Keller, ein Erdgeschoß, ein Obergeschoß und ein Dachgeschoß. Innerhalb des Gebäudes sind die Laboratorien,

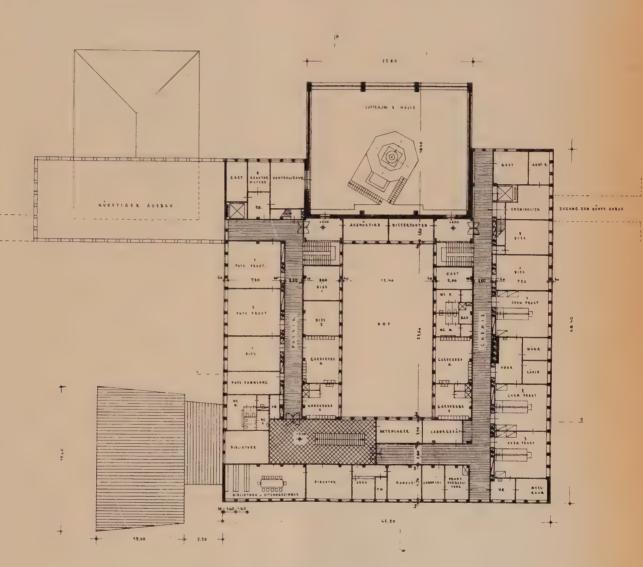


Abb. 6. 1. Stock des Atominstituts

Erdbeben (Starkbeben) zur Verfügung, die mit ziemlicher Zuverlässigkeit gerade für Wien bis zum Jahre 1200 zurückreichen.

Auf Grund dieses Materials kann festgestellt werden, daß in diesem ganzen Zeitraum wesentliche Bodenerschütterungen im Bereich des zweiten und dritten Wiener Gemeindebezirkes nicht festgestellt wurden. Die Bodenerschütterungen erreichten im allgemeinen nur den Stärkegrad 5 der empirischen Stärkeskala. Diesem Stärkegrad entspricht eine horizontale Beschleunigung von 5 cm/s<sup>-2</sup> als zu berücksichtigende baumechanische Zusatzkraft.

in denen keine Verunreinigungen mit radioaktiven Stoffen zu erwarten sind (physikalische Laboratorien), abgetrennt von den Laboratorien, in denen radiochemische Arbeiten an offenen radioaktiven Stoffen fester und flüssiger Art ausgeführt werden (chemische Laboratorien). Die ersteren liegen auf dem NW-Flügel, die letzteren im SO-Flügel des Gebäudes. Der parallel zum Lauf des Donaukanals verlaufende SW-Flügel enthält in der Hauptsache die Räume für die Leitung des Instituts, Bibliothek, Sitzungszimmer usw. Ein Hörsaal ist seitlich an den NW-Flügel angebaut.

Alle Gebäude sind in Stahlbetonskelettbauweise auf durchgehenden Fundamentplatten errichtet. Die

Bodenbelastbarkeit schwankt, mit Ausnahme der Reaktorhalle, je nach Verwendungszweck zwischen 500 bis  $1.500 \, \mathrm{kg/m^2}$ .

Die Rahmenkonstruktion des Institutsgebäudes ist so ausgebildet, daß zwei Säulenreihen einen 2,50 m breiten Mittelgang bilden, an dem beiderseits die und Wahlleitungen jeder Art und Menge zu jedem Raum herstellen bzw. einbauen zu können.

Die Geschoßhöhen betragen für die Kellergeschosse 3,0 bzw. 3,70 m und für die Obergeschosse je 4,0 m. Es folgt eine eingehende Beschreibung der einzelnen Gebäudeteile:

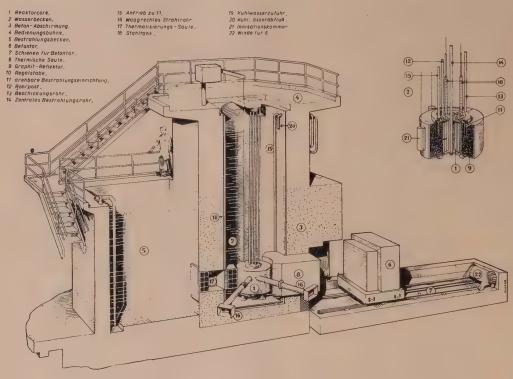


Abb. 7. Schnittzeichnung durch den Reaktor TRIGA-Mark-II

Laboratorien und Büros usw. angeordnet sind. Alle Zu- und Ableitungen für die Sanitärinstallation sowie alle sonstigen Versorgungsleitungen für Beheizung, Belüftung, Elektrizität usw. sind auf einer Seite des Mittel-

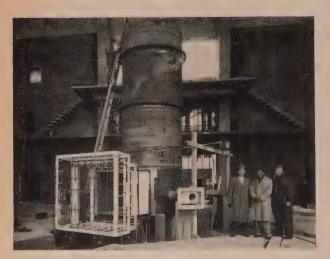


Abb. 8. Reaktor TRIGA-Mark-II vor dem Betonguß

ganges unter einer durchgehenden Stahltürwand verlegt. Auf diese Weise ist die Gewähr gegeben, jederzeit ohne zusätzliche Stemm- und Verputzarbeiten Zusatz-

#### 6,1) Keller

Im unteren Keller befindet sich der Installationsgang von 3,0 m Höhe, in dem alle Leitungen für Wasserzuund -abfuhr, Gas und elektrische Stromzuführungen geführt sind.

Ferner sind Teile der Einrichtung für die Abwasseraufbereitung, das Kesselhaus und Räume für die Reparatur von radioaktiven Geräten usw. in diesem Unterkeller untergebracht.

Im Oberkeller befinden sich, wie aus der Planskizze (Abb. 4) hervorgeht, zahlreiche Nutzräume, die so angeordnet sind, daß sie mit den darüber liegenden Laboratorien der beiden Obergeschosse im Einklang sind. Im Physikflügel befinden sich an der Außenseite des Gebäudes die mechanischen Werkstätten, die Werkstätten für Elektronik sowie die Tischlerei, ferner ein Laboratorium zur Messung extrem kleiner Aktivitäten.

An der Hofseite liegen Garderoben für die in den Werkstätten Beschäftigten, ferner ein Photolaboratorium. Das Terrain ist soweit abgegraben, daß diese Werkstätten ebenerdig gelegen und durch eine Zufahrt erreichbar sind. Die Werkstätten haben also Fenster normaler Größe und empfangen Tageslicht wie die Räume der Obergeschosse.

Im Keller des Chemieflügels liegen drei je 20 m<sup>3</sup> fassende Wassertanks zur Aufnahme der Abwässer aus den radiochemischen Laboratorien, die darüber liegen; diese Tanks und die dazu gehörigen Aufbereitungsein-

richtungen reichen bis in den Unterkeller; ferner Räume für die Aufbewahrung von Chemikalien, für flüssige Luftherstellung, ferner auch Teile der Heizanlagen für das ganze Gebäude. Die Vorratslager für festen und flüssigen Brennstoff liegen außerhalb des Gebäudes

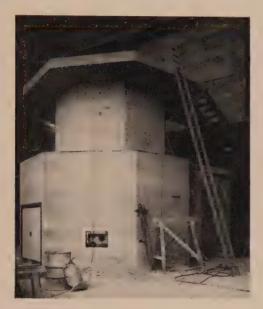


Abb. 9. Reaktor TRIGA-Mark-II. Bauzustand Januar 1961

neben dem Heizkeller. Der Keller auf der Frontseite des Gebäudes enthält hauptsächlich die Transformatorstation zur elektrischen Stromversorgung.

#### 6,2) Erdgeschoß und 1. Stock

Im Erdgeschoß (Abb. 5) des Physikflügels liegen außenseitig die Forschungslaboratorien für Physik mit einer Gesamtfläche von 145 m². Im 1. Stock liegen die Räume für die physikalischen Praktika und die Diplomanden und Doktoranden.

Alle Laboratorien haben eine einheitliche Tiefe von 7 m. An der Hofseite befinden sich die Studierzimmer für das wissenschaftliche Personal. Da in den Laboratorien des Physikflügels Arbeiten mit offenen radioaktiven Substanzen nicht ausgeführt werden dürfen, sind auch nicht jene besonderen Maßnahmen getroffen worden, wie in den gleich zu beschreibenden radiochemischen Laboratorien.

Im Erdgeschoß (Abb. 5) des Chemieflügels liegen an der Außenseite die radiochemischen Forschungslaboratorien, die so angelegt wurden, daß eine Verseuchung von Gebäudeteilen durch Verschleppung radioaktiver Substanzen aus den radiochemischen Laboratorien ausgeschlossen ist. Diese Laboratorien sind vom Gang her nur über Vorräume betretbar, in denen Monitore, Waschgelegenheiten, reine Arbeitskleider vorhanden sind, die jeden Arbeitenden zwingen, seinen radioaktiven Zustand zu prüfen und eine allenfalls entdeckte radioaktive Verunreinigung loszuwerden. Wie aus der Planskizze ersichtlich ist, liegen zwischen den Laboratorien Wäg- und Meßräume, die gleichfalls nur von den oben genannten Vorräumen zugänglich sind. Die Gesamtfläche der Laboratorien beträgt 283 m².

In der Mitte eines jeden Chemielaboratoriums steht ein Doppeltisch, an dessen beiden Enden Waschbecken vorgesehen sind. Jeder Tisch enthält Auslässe für Kaltund Warmwasser, für Gas und Preßluft und hat elektrische Stromanschlüsse. An den Seitenwänden sind Digestorien. Alle Leitungen werden direkt zur Installationsgangwand geführt, ohne daß ein Fußbodendurchbruch erforderlich ist. Zwischen dem Arbeitstisch und der Fensterfront ist noch genügend Platz, um freistehende Apparate aufbauen zu können. Die erforderlichen Zuleitungen zu diesen Apparaten werden von einer speziellen Anschlußgarnitur am Arbeitstisch in einem etwa 2 m hohen Bogen zugeführt.

Im 1. Stock des Chemieflügels (Abb. 6) liegen die Räume für den Studienbetrieb, in denen die Praktika untergebracht werden und Diplomanden und Doktoranden ihre Arbeiten ausführen können.

Hinsichtlich der Innenausgestaltung aller Räume wurde besonders darauf geachtet, daß alle Flächen (Boden und Wände) dicht und fugenlos sind. Die Böden in den Laboratorien haben PVC-Belag. Die Wände haben Dispersionsanstrich.

Zum Lastentransport sowie zur Personenbeförderung ist im Institutsgebäude sowohl im Physik- als auch im Chemieflügel je ein schwerer Selbstfahreraufzug eingebaut.

#### 6,3) Reaktorhalle und darunter befindliche Teile des Kellers

Die Reaktorhalle hat eine Grundfläche von  $20\times22$  m und eine Innenhöhe von 17,5 m. Der Reaktor (Abb. 7, 8 und 9) steht auf einem Fundament aus gewöhnlichem Beton von 340 cm Höhe. Der Fußboden der Halle ist

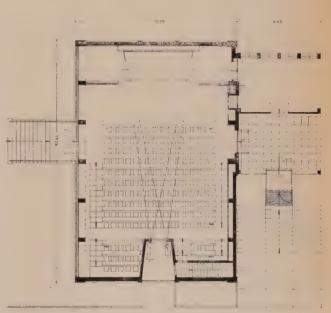


Abb. 10. Hörsaal des Atominstituts

aus Stahlbeton mit einer Tragkraft von 5 t/m². Die Wände sind aus Beton, mit Ausnahme der praterseitig (NO) gelegenen Wand, die aus einzelnen Profilitglasscheiben zusammengesetzt ist. Ein beschädigter Teil kann leicht ausgekittet und erneuert werden. Die Halle

ist sowohl vom Innenhof des Instituts als auch von jedem der beiden Flügel über Windfänge zugänglich. Diese Windfänge sind so eingerichtet, daß auch ein Wechsel von Schuhen und Oberkleidern vor Eintreten in die Reaktorhalle und nach dem Verlassen vorgenommen werden kann, um die Halle möglichst staubfrei zu halten. An der praterseitigen Wand der Halle befindet sich ein großes Tor mit Zufahrtsmöglichkeiten für Lastwagen. Alle Türen zur Reaktorhalle sind einigermaßen gasdicht verschließbar. Unter der Decke der Halle, die gleichfalls aus Beton ist, ist eine elektrisch fahrbare Kranbrücke eingerichtet, auf der ein Elektrozug mit 3 t Tragkraft mittels elektrisch fahrbarer Unterflanschlaufkatze montiert ist. Alle Wände und Decken sind schalldämpfend ausgeführt. Der Kellerraum unter der Reaktorhalle umgibt den Betonfundamentblock und bietet genügend Platz, um Betonbehälter zur Aufnahme aktiver Brennstoffelemente unterzubringen. Desgleichen ist ein großer Betonblock mit zvlindrischen Bohrungen zur Aufbewahrung radioaktiver Isotope vorgesehen. Die Einbringung der Brennstoffelemente in ein Lager, das im Hallenboden versetzt ist, erfolgt mittels des Deckenkranes. Im Keller sind ferner untergebracht der Wärmeaustauscher für das Reaktorkühlsystem, Reservetanks von etwa 25 000 l Inhalt zur Aufnahme des im Reaktortank befindlichen Wassers, ferner die Entsalzungsanlage zur Reinigung des Wassers im Reaktortank.

E und M

#### 6,4) Hörsaal

Der an der Seite des Physikflügels erbaute Hörsaal (Abb. 10) hat einen direkten Zugang von außen, kann aber natürlich auch von der Vorhalle im Erdgeschoß des Instituts aus betreten werden. Er faßt etwa 170 Personen auf ansteigenden Sitzreihen. Der Vortragende betritt den Saal an der Seite gegenüber der Bildwerfereinrichtung aus einem angebauten Vorbereitungszimmer. Der Hörsaal enthält alle Einrichtungen, die die Ausführung von Experimenten ermöglichen. Der Experimentierraum befindet sich hinter den Schreibtafeln mit einer separaten Doppeltüre vom Vorbereitungsraum her; diese Tafeln können seitlich zurückgezogen werden, wenn Versuche gezeigt werden sollen oder die Bildwerfereinrichtung in Aktion treten soll. Der Bildwerfer erlaubt die Vorführung von Schmalfilmen. Der Keller unter dem Hörsaal enthält die Anlagen für die Frischluftzufuhr für den gesamten Gebäudekomplex. Der Hörsaal besitzt auch noch einen Notausgang.

#### Die Elektrizitätsversorgung des Atominstitutes

Von H. Weiss, Wien

DK 621.039.572 (436.14): 621.311

Die Elektrizitätsversorgung des Instituts wird direkt vom Kraftwerk Simmering über ein 10-kV-Drehstromkabel, welches vorläufig für 600 kVA ausgelegt ist, durchgeführt. Im Keller des Gebäudes sind eine 10-kV-Schaltanlage und eine Transformatorstation vorgesehen. Eine zweite unabhängige Anspeisung des Instituts ist nicht notwendig, da der Reaktor bei Stromausfall nicht unbedingt eine Ersatzversorgung benötigt. Die Wärmeentwicklung in den Brennstoffelementen ist nämlich nicht so groß, daß der Kühlkreislauf nach dem automatischen Abschalten des Reaktors bei Stromausfall in Betrieb bleiben muß. Die Wärmekapazität des Reaktortankwassers reicht völlig aus, die entsprechende Wärme aufzunehmen.

Zur Transformierung von 10 kV auf die Gebrauchsspannungen, 220 V bzw. 380 V, stehen drei Transformatoren zur Verfügung (Abb. 1). Ein 250-kVA-Transformator versorgt den Kraftstrombedarf der Entlüftung, der Pumpen für die Abwasseranlage und das Heizhaus, der Aufzüge, des Kranes in der Reaktorhalle usw. Damit man bei Versuchen in den Laboratorien von größeren Schaltstößen bzw. Belastungsschwankungen einigermaßen unabhängig wird, ist für die Laboratoriumsversorgung ein eigener 500-kVA-Transformator vorgesehen. Schließlich speist noch ein 100-kVA-Transformator die gesamte Institutsbeleuchtung. Eine Niederspannungsschaltanlage gestattet bei Ausfall eines Transformators die Umschaltung der einzelnen Verbrauchergruppen auf die anderen Transformatoren.

Bei längerem Ausfall der Elektrizitätsversorgung muß dafür gesorgt werden, daß die Abwasserpumpen, die Entlüftung der Reaktorhalle und der heißen Zelle in Funktion bleiben. Zu diesem Zweck ist ein Dieselnotstromaggregat von 60 kVA vorgesehen. Da eine unterbrechungslose Stromversorgung für diese Verbraucher nicht notwendig ist, genügt es, das Dieselaggregat nach einiger Zeit von Hand aus anzulassen und die notwendigen Leistungsabschnitte von der Normalversorgung auf den Notstrom umzuschalten.

Während man bei der Kraftversorgung eine Unterbrechung bis zum Anlassen des Notstromnetzes zulassen kann, ist dies bei der Beleuchtungsanlage nicht möglich, denn gerade bei Netzausfall können gewisse Tätigkeiten z. B. in der Reaktorhalle oder auf der Reaktorwarte notwendig werden. Eine Akkumulatoren-Batterie von 110 V und 162 Ah versorgt daher bei Netzausfall automatisch eine Stromausfallbeleuchtung. Außer in der Reaktorhalle und auf der Warte sind noch an allen wichtigen Stellen, wie Bedienungsraum der heißen Zelle, Isotopenlager, Gängen, Stiegen usw. Beleuchtungskörper vorgesehen. Für den Fall, daß das Netz längere Zeit ausfällt, und die relativ schwache Batterie dann zu sehr belastet würde, besteht die Möglichkeit, die Ausfallbeleuchtung über einen Gleichrichter an das Dieselaggregat zu schalten, wobei die Batterie als Puffer

In den Laboratorien und in der Reaktorhalle sowie in den Elektronikwerkstätten sind zwei Versorgungsnetze vorgesehen; ein normales Drehstromnetz für allgemeine Verwendung und ein stabilisiertes zum Anschluß aller nuklearen Meß- und Zähleinrichtungen. Die kernphysikalischen Meßgeräte haben zwar ihre eigene, meist elektronische Stabilisierung, doch wird durch die Stabilisierung des Netzes ein viel höherer Stabilisa-

tionsgrad erreicht, der oft erwünscht ist. Zur Netzregelung wird ein 3phasiger Spannungsregler von  $3\times20\,\mathrm{kVA}$  Durchgangsleistung verwendet. Dieser Regler hält die Spannung auf  $+1\,\mathrm{e}/\mathrm{o}$  bei einer Eingangsspannungsänderung von  $\pm\,10\,\mathrm{e}/\mathrm{o}$  konstant, ohne daß er ihre Kurvenform wesentlich ändert.

Auch weist er nur geringe Last- und Phasenwinkelabhängigkeit auf. Die Ausregelzeit beträgt etwa 1 s. eine schnellere Spannungsregelung ist nicht notwendig, da sich kurzzeitige Änderungen in erster Linie auf Hochspannungsversorgung der Geräte auswirken würden, die ja elektronisch stabilisiert ist, während für lang dauernde Abweichungen, die die Heizung der Elektronenröhren beeinflussen, die Regelzeit von 1 s ausreicht, da die Heizungen eine gewisse Wärmekapazität haben. Die Spannungsregelanlage ist so ausgeführt, daß sie keinerlei Wartung erfordert.

Um wichtige Experimente, die durch eine längere Unterbrechung sehr gestört oder unbrauchbar würden, weiterführen zu kön-

nen, besteht die Möglichkeit, auch das stabilisierte Netz auf den Notstrom zu schalten. Wenn an dieses Netz viele Geräte angeschaltet sind, könnte eine Überlastung des Notstromsatzes eintreten, was die Versorgung der Pumpen gefährden würde. Daher ist in die Leitung zum stabilisierten Netz eine Leistungsbegrenzung eingebaut, die im Überlastungsfall dieses Netz vom Notstromsatz trennt.

Die Verteilleitungen werden in den Flurdoppelwänden und von dort unter Putz zu den Schalttafeln in den Laboratorien und Werkstätten geführt. Es werden Kunststoffmantelleitungen in Bergmannrohren verwendet. Für das normale und das stabilisierte Netz werden getrennte Schalttafeln, die zur deutlichen Kennzeichnung verschiedene Farben haben, installiert.

Die Schalttafeln sind im ganzen Gebäude einheitlich ausgeführt. Sie besitzen Schuko-Anschlüsse für 2-Phasen- und 3-Phasenstrom, sowie Universalklemmen und Erdklemmen. In jede Leitung ist auf der Tafel ein kleiner Selbstschalter mit Leitungsschutzcharakteristik als Überstromschutz eingebaut. Diese Schalter werden auch gleichzeitig zum normalen Ein- und Ausschalten verwendet. Die Tafeln haben solche Abmessungen, daß sie auch an den Gebäudekonstruktionspfeilern der Außenwände angebracht werden können.

Um zwischen den einzelnen Laboratorien des Instituts und auch zur Reaktorhalle beliebig Meß-, Steueroder Signalleitungen auch noch nach Fertigstellung des Baues verlegen zu können, sind an der Decke der Gänge, von der Elektroinstallation möglichst weit entfernt, aufklappbare Leerkanäle entsprechenden Ausmaßes vorgesehen, die Anschlüsse zu den einzelnen Laboratorien haben. Eine Verbindung der benachbarten Physiklaboratorien ist durch spezielle Wanddurchlässe für Meßleitungen und Starkstrom möglich. Damit kön-

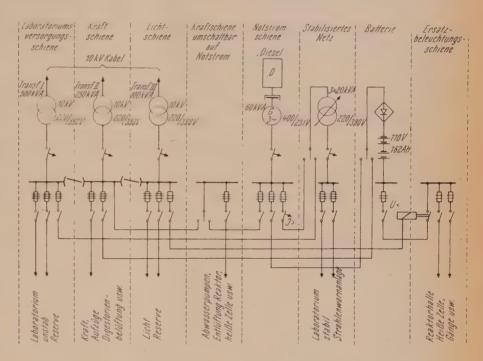


Abb. 1. Schema der Elektrizitätsversorgung

nen Versuche auf zwei oder mehrere Laboratorien ausgedehnt werden. Ein Laboratorium kann z. B. für den Experimentaufbau und das anschließende als Meßraum verwendet werden.

Ein Teil der Laboratorien und Elektronik-Werkstätten ist mit zwei Erdungssystemen ausgerüstet. Das normale Erdungssystem ist als Schutzerdung in Form einer Ringleitung im Gebäude verlegt und führt in jeden Raum. Es dient im wesentlichen zum Anschluß von Maschinen und Geräten, bei denen eine Beeinflussung durch die Erdleitungsströme nicht zu erwarten ist. Das zweite System ist nicht in Form einer Ringleitung installiert, sondern hat von jedem Laboratorium eine getrennt geführte, abgeschirmte Leitung zu einem gemeinsamen Erder. Mit diesem System können auch Impulse abgeleitet werden, ohne daß eine Kopplung durch die Erdleitung auf andere Geräte zu befürchten ist. Diese Erdung wird für elektronische Geräte bei genauen Messungen verwendet.

Die Beleuchtung erfolgt im ganzen Gebäude mit Tageslichtleuchtstofflampen. Nur im Meßraum für niedrige Aktivitäten und in den anschließenden Gangteilen ist außer der normalen Beleuchtung noch eine getrennt gespeiste Glühlampenbeleuchtung vorhanden, die bei heiklen Messungen eingeschaltet wird, wodurch jegliche Störmöglichkeit durch die Leuchtstofflampen vermieden ist. Zur elektrischen Abschirmung ist der Raum auch noch mit einem Faraday-Käfig versehen.

Es ist Vorsorge getroffen, eine Funkenentstörung für die gesamte Elektroinstallation einzubauen, wenn sich der Bedarf hierfür herausstellen sollte.

#### Die Abwasseranlage des Atominstitutes

Von O. Bobleter und K. Buchtela, Wien

DK 621.039.572 (436.14): 621.039.583: 628.3

#### 1) Die Wasserversorgung

Die Versorgung des Institutes mit Trink- und Brauchwasser erfolgt über einen Zuleitungsstrang der Wiener Wasserwerke. Ausgenommen hiervon ist der Bedarf an Reaktorkühlwasser. Dieses wird aus dem örtlich vorhandenen Grundwasser entnommen. Der Bedarf an Reaktorkühlwasser beträgt etwa 18 m³/h. Der dafür notwendige Brunnen befindet sich auf der Parzelle des Institutes.

#### 2) Das Abwassersystem

Bei den im Bereich des Institutes anfallenden Abwässern wird unterschieden zwischen:

- a) Abwasser hoher Aktivität (über 10<sup>-3</sup> μc/ml),
- b) Abwasser mittlerer Aktivität, welches als Spülund Waschwasser in den radiochemischen Laboratorien anfällt,
- c) Abwasser von sehr geringer Aktivität (in der Gegend der Trinkwassertoleranz),
- d) inaktiven Abwässern, wie Regenwasser, Trinkund Fäkalabwasser.

#### 3) Methoden zur Aufbereitung radioaktiver Abwässer

Die Laboratoriumsabwässer, welche radioaktive Substanzen enthalten können, müssen vor ihrer Ableitung auf Radioaktivität geprüft werden. Übersteigt der Gehalt des Abwassers an radioaktiven Stoffen eine festzulegende Grenze, so muß eine geeignete Vorbehandlung dieser Abwässer erfolgen.

Im allgemeinen werden folgende Methoden bei der Behandlung radioaktiver Abwässer angewendet (Abb. 1):

- 1. Abklingen,
- 2. Verdünnen,
- 3. Konzentrieren
  - a) Ausfällen,
  - b) Eindampfen,
  - c) Ionenaustausch.

#### 3,1) Abklingen

Diese Methode ist natürlich nur für kurzlebige Radionuclide anwendbar. Die Abwässer werden in Rückhaltetanks gesammelt und erst nach einem entsprechenden Zeitabschnitt abgelassen. Dieser Zeitraum hängt von der Halbwertszeit und Konzentration der im Abwasser vorhandenen Radionuclide ab.

#### 3,2) Verdünnen

Die Verdünnung radioaktiver Flüssigkeiten mit inaktivem Abwasser ist keine Dekontaminierungsmethode, sondern verteilt die vorhandene Radioaktivität auf große Wassermengen, so daß die behördlich empfohlene "maximal zulässige Konzentration" erreicht wird. Trotzdem wird diese Methode von vielen Forschungslaboratorien angewendet. Einigermaßen sinnvoll läßt sich das Verfahren nur in Kombination mit der erstgenannten Methode (Abklingen) auswerten.

#### 3,3) Konzentrieren

#### 3,31) Ausfällen

Die Art und die Wirksamkeit der Fällungsmethode hängen von den vorhandenen Radionucliden, ihren chemischen Verbindungen und den inaktiven Begleitstoffen ab. Bei manchen Elementen ist eine Beseitigung bis zu 98% möglich, Hauptsächlich werden Eisenionen mit Sulfiden und Phosphaten in alkalischer Lösung gefällt und der die aktiven Bestandteile adsorbierende Niederschlag, eventuell mit Zugabe von Filterhilfsmitteln, filtriert. Der Fällungsschlamm wird als fester radioaktiver Abfall behandelt.

#### 3,32) Eindampfen

Beim Eindampfen radioaktiver Abwässer werden die zu entfernenden Produkte im Rückstand angereichert und müssen als fester radioaktiver Abfall gelagert werden. Trotz der hohen Kosten wird dieses Verfahren in manchen Forschungszentren als hauptsächliches Dekontaminationsverfahren angewendet.

#### 3,33) Ionenaustausch

Abwässer, die über das Fällungsverfahren hinaus noch einer weiteren Reinigung bedürfen, werden über Ionenaustauscher geleitet. Wenn das Abwasser auch radioaktive Anionen enthalten kann, muß die Reinigungsanlage als Mischbett-Ionenaustauscher ausgeführt sein oder Kationen- und Anionenaustauschersäulen hintereinandergeschaltet aufweisen. Durch geeignete Kontrollvorrichtungen muß dafür Sorge getragen werden, daß nach Beladung des Austauscherharzes ein "Durchbrechen" der aktiven Substanzen im Eluat sofort zur Anzeige gebracht wird. Die beladenen Austauschersäulen werden als fester radioaktiver Abfall behandelt.

#### 4) Die Institutsanlage

Bei der Abwasseraufbereitungsanlage des Atominstitutes der österreichischen Hochschulen werden hauptsächlich die Verfahren der Fällung und des Abklingens (eventuell in Verbindung mit Verdünnung) angewendet werden. Die Eindampfmethode wird nur in kleinerem Maßstab durchgeführt werden, ebenso werden Ionenaustauscher vor allem nur dort zur Anwendung kommen, wo die anderen Verfahren keine zufriedenstellenden Ergebnisse aufweisen. Es sollen aber über den notwendigen Routinebetrieb hinaus die bekannten Verfahren verbessert und neue Methoden überprüft werden.

Die Anwendung der obengenannten Verfahren auf die radioaktiven Abwässer des Atominstitutes soll nun kurz beschrieben werden.

#### 4,1) Flüssigkeiten hoher Aktivität

Diese Abwässer fallen als Abfallprodukte bei radiochemischen Versuchen an. Es ist meist bekannt, um welche Radionuclide es sich dabei handelt und wie hoch die Konzentrationen der strahlenden Substanzen sind. In allen Laboratorien werden nun kleine Behälter (etwa 10...20 l) aufgestellt, in die sämtliche flüssige Abfälle dieser Art eingefüllt werden. Die Gefäße bestehen aus Kunststoff und sind mit einem säurefesten Schutzmantel versehen, um den Fußboden vor Verseuchung zu schützen, falls der Behälter undicht wird. Auch die zur Vorreinigung der Versuchsgeräte verwendeten Spülflüssigkeiten werden in diese Behälter eingefüllt. Alle mit Laboratoriumsarbeiten betrauten Personen sind verpflichtet, die Art und Menge der in

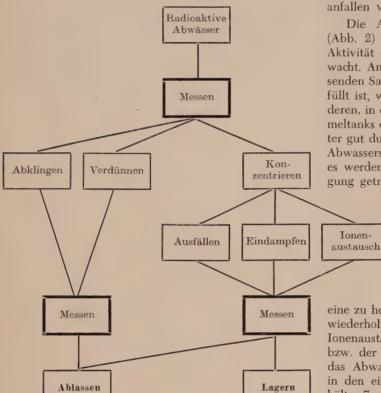


Abb. 1. Schematische Darstellung der Behandlungsmethoden radioaktiver Abwässer

die Abfallgefäße gefüllten, radioaktiven Substanzen auf Formblättern zu verzeichnen. Diese Aufzeichnungen liefern dann die für die Aufarbeitung der aktiven Abwässer verwendbaren Hinweise. In den meisten Fällen werden diese Flüssigkeiten einer kleinen Eindampfanlage zugeführt werden. Diese Anlage wird im Keller des Institutes errichtet und mit den notwendigen Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen ausgestattet werden. Das meist schon völlig inaktive Destillat wird in Sammeltanks geleitet, während der Rückstand in die Behälter für feste aktive Abfälle gefüllt und zum Abtransport vorbereitet wird.

#### 4,2) Flüssigkeiten mittlerer Aktivität

Die radiochemischen Laboratorien besitzen ein Abflußsystem ("heiße Abflüsse"), welches vom übrigen Wasserleitungssystem völlig getrennt ist. Es soll dadurch mit Sicherheit vermieden werden, daß Abwässer, die bei radiochemischen Arbeiten anfallen und aktive Substanzen enthalten können, in normale Abwasserleitungen eingebracht werden und sich so einer Entseuchung entziehen. In das obgenannte System führen die Abflüsse aus den Spülbecken, den Wannen der Digestorien, den "heißen Zellen", dem Entseuchungsraum" und einigen anderen Arbeits- und Aufenthaltsorten, an denen aktive Abwässer anfallen können. Die Aktivität rührt hauptsächlich von Spülwässern bei der Feinreinigung von Laboratoriumsgeräten her, außerdem kann bei Bruch von Glasgeräten in den Arbeitswannen der Isotopenabzüge radioaktives Material in das Abflußsystem gelangen. Es wird damit gerechnet, daß pro Tag etwa 3 m³ Abwässer mittlerer Aktivität anfallen werden.

Die Abwässer mittlerer und niedriger Aktivität (Abb. 2) werden in ein Einlaufgefäß 1 geleitet. Die Aktivität des Abwassers wird hier kontinuierlich überwacht. Anschließend gelangt es in einen der 20 m³ fassenden Sammeltanks 2. Wenn der erste Sammeltank gefüllt ist, wird der Zulauf gesperrt und in einen der anderen, in der Zwischenzeit schon wieder entleerten Sammeltanks eingeleitet. Nachdem die Flüssigkeit im Behälter gut durchgemischt worden ist, wird die Aktivität des Abwassers nach einer Probenentnahme bestimmt, und es werden die geeigneten Maßnahmen für eine Reinigung getroffen. Je nach der gemessenen Aktivität wird

eine zweckentsprechende Behandlung in den Fällbehältern 3 notwendig sein. Der bei den Fällungen anfallende Schlamm wird in geeignete Behälter gefüllt und zur Lagerung abtransportiert werden. Das gereinigte Überlaufwasser der Fällbehälter wird über ein Filter 4 geleitet. Falls beim Überlaufwasser der Fällbehälter

eine zu hohe Aktivität gemessen wird, muß die Fällung wiederholt oder die Flüssigkeit zur Reinigung über die Ionenaustauscher 5 geleitet werden. Nach dem Fällen bzw. der Behandlung mit den Ionenaustauschern wird das Abwasser über einen kleinen Zwischenbehälter 6 in den einen der beiden 3 m³ fassenden Rückhaltebehälter 7 gepumpt. Wird nach einer nochmaligen Aktivitätsbestimmung festgestellt, daß die Konzentration an radioaktiven Substanzen das zulässige Maß nicht übersteigt, wird das Abwasser, das von hier an als "Abwasser niedriger Aktivität" bezeichnet wird, bis zum Zeitpunkt des Ablassens gelagert. Erst in den Nachtstunden kann diese Flüssigkeitsmenge über ein zeitgesteuertes Ventil 8 und ein Regelventil 9 über ein Auslauf-, Misch- und Meßgefäß 10, verdünnt mit dem Reaktorkühlwasser 11, in den Donaukanal abgelassen werden. Die beschriebenen Gefäße und Leitungen können mit Reinwasser 12 gespült werden. Zwei Geigerzählrohr-Meßsonden S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> prüfen die Aktivität der in die Abwasseranlage einlaufenden Flüssigkeiten, während zwei weitere Sonden S3 und S4 das Auslaufwasser kontrollieren. Alle Sonden sind mit Schreibgeräten verbunden, so daß eine nachträgliche Überprüfung der Aktivitätsverhältnisse jederzeit stattfinden kann. Zwei Wassermengenschreiber registrieren beim Auslaufvorgang die Mengen des aktiven Abwassers MS1 und die des Verdünnungswassers (Reaktorkühlwasser MS2).

Die gesamte Anlage ist in einer korrosionsgeschützten Ausführung hergestellt. Die Pumpen und Ventile sind vorwiegend aus Kunststoff angefertigt und die betonierten Sammeltanks mit einem säurefesten Schutzbelag und Spezialfliesen ausgelegt. Die übrigen Behäl-

ter bestehen aus Stahl und erhalten eine PVC-Auskleidung. Als Rohrleitungsmaterial wurde Hochdruckpolyäthylen gewählt.

Das in Abb. 2 dargestellte Abwasserfließbild wird in dieser Weise auch auf einer Kontrolltafel angebracht. Die entsprechenden Kontrollampen für die Ventile, Pumpen und Füllstandsanzeiger ermöglichen eine sofortige Kontrolle der Betriebsanlage.

#### 4,3) Niedrige Aktivitäten (Restaktivitäten)

Die nach der chemischen Behandlung vorliegenden Abwässer niedriger Aktivität werden nur während der Nacht in den Donaukanal geleitet (21 Uhr bis 5 Uhr, von Oktober bis Februar auch 18 Uhr bis 6 Uhr). Entsprechend dem Bescheid des Bundesministeriums für

#### 4,4) Inaktive Abwässer

Die inaktiven Abwässer werden in den Hauptsammler der städtischen Kanalisation entlassen.

#### 5) Die Überwachung der Abwasseranlage

Über alle Abgänge radioaktiver Materialien werden Kontrolljournale geführt. Die Zusammensetzung der Abwässer in den Behältern für hohe Aktivitäten wird, da dies meist aus den Versuchen bekannt ist, vermerkt. Bei der Abwasseraufbereitungsanlage werden an vorgeschriebenen Stellen Messungen vorgenommen, aus denen nun entnommen werden kann, mit welcher Aktivität das Abwasser in die Anlage einfließt, welchen Erfolg die einzelnen Behandlungen zeigen und mit welcher Reinheit das Wasser die Anlage verläßt und in

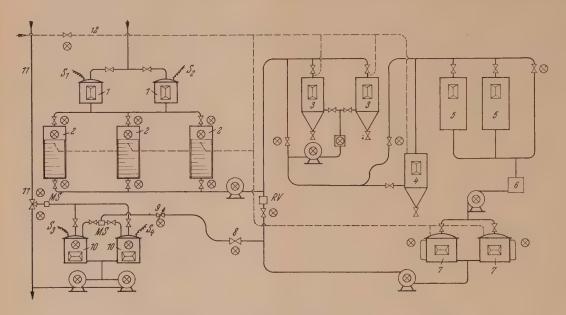


Abb. 2. Schematische Darstellung der Abwasseranlage des Atominstituts

1 Einlauf Misch- und Meßgefäße, 2 Sammeltanks à 20 m³, 3 Fällbehälter à 2 m³, 4 Filter, 5 Ionenaustauscher, 6 Zwischenbehälter, 7 Rückhaltebehälter à 3 m³, 8 zeitgesteuertes Ventil, 9 Regelventil, 10 Auslauf Misch- und Meßgefäße, 11 Reaktorkühlwasser 18 m³/h, 12 Reinwasser S Strahlungspegel-Meßsonde, MS Flüssigkeitsmengenschreiber und RV Rückschlagventil

Land- und Forstwirtschaft (Zl. 96055/23-55045/59) darf die Aktivität des Donaukanalwassers knapp unterhalb der Einleitung der Abwässer aus dem Gelände des Forschungsreaktors nicht höher sein als 1·10-9 mc/l. Dies bedeutet, daß in Hinblick auf das besiedelte Gebiet im Bereich des Donaukanals zum international anerkannten Wert für Trinkwassertoleranz (maximal zulässige Konzentration =  $1 \cdot 10^{-7}$  mc/l) noch ein zusätzlicher Sicherheitsfaktor (1:100) berücksichtigt wird. Es dürfen pro Tag — genauer gesagt pro Nacht — maximal 4 mc in den Donaukanal eingebracht werden. Das Abwasser wird durch eine Strahldüse unter Wasser in den Donaukanal eingepreßt, um auf diese Weise eine gute und sofortige Durchmischung mit dem Wasser des Donaukanals zu erreichen. Bei Unterschreitung eines Pegelstandes von 153,80 m ü. A. (Niedrigwasser des Donaukanals) und bei Überschreitung eines Standes von 158,50 m ü. A. wird der Betrieb in den radiochemischen Laboratorien stillgelegt und das Ablassen von Abwasser eingestellt.

den Donaukanal gepumpt wird. Im Vorfluter wird oberund unterhalb der Einleitungstelle die Radioaktivität von Sedimenten sowie von pflanzlichem und tierischem Material bestimmt. Ebenso werden Untersuchungen von Proben aus den Grundwassersonden, die sich auf dem Areal des Hochschulreaktors befinden, unternommen. Schon ein Jahr vor der voraussichtlichen Inbetriebnahme des Reaktors wurde mit der Messung von Wasserproben aus der Umgebung des Institutes begonnen.

#### 6) Unterricht und Forschung

Die Aufarbeitung radioaktiver Abwässer wird bei der immer weiteren Verbreitung radiochemischer Arbeitsmethoden in Forschung und Industrie ein außerordentlich wichtiger Arbeitszweig der chemischen Technologie werden. Die Menge radioaktiver Abwässer wird mit steigender Anwendung von Radionucliden immer größer werden. Es müssen also die Aufarbeitungsmethoden verbessert und womöglich auch wirtschaftlicher gestaltet werden. Jeder Chemiker, der mit radio-

aktiven Substanzen arbeitet, muß über die Probleme und Schwierigkeiten der Dekontamination aktiver Abwässer Bescheid wissen; es fällt ja praktisch bei allen radiochemischen Arbeiten aktiver Abfall an, er verursacht bei der Aufarbeitung oder Lagerung unter Umständen beträchtliche Kosten oder kann bei der direkten, unkontrollierten Abgabe an die Umgebung eine unzulässige, ja sogar gefährliche radioaktive Verseuchung verursachen. Die Kenntnis der für die Reinheit der Abwässer erlassenen Vorschriften und das Wissen um die Schwierigkeiten und Möglichkeiten der Aufarbeitungsmethoden können es dem Chemiker ermöglichen, seine radiochemischen Arbeiten verantwortungsbewußt zu planen und auszuführen.

Schon jetzt werden in den radiochemischen Einführungskursen die Probleme der Abwasseraufbereitung erläutert.

Im Rahmen eines Forschungsprogramms wurden außerdem billige und wirksame Ionenaustauscher aus Holzabfallprodukten hergestellt, die sich speziell für die Entfernung radioaktiver Verunreinigungen eignen. Darüber wird noch an anderer Stelle berichtet werden. Es wird eines der Ziele des Atominstitutes sein, den Problemen des radioaktiven Abfalls sowohl bei der Forschung als auch im Rahmen des Unterrichtsprogramms gebührende Aufmerksamkeit zu widmen.

Alle beschriebenen Vorkehrungen, Schutz- und Kontrollmaßnahmen sind teils vom Atominstitut der österreichischen Hochschulen ausgearbeitet, teils von den zuständigen Behörden vorgeschrieben worden. Die Anwendung der Vorschriften bietet die Sicherheit, daß jede Gefährdung der Volksgesundheit hinsichtlich einer Verunreinigung des Donaukanal- und Grundwassers ausgeschlossen ist. Es wird die Aufgabe des Atominstitutes sein, die Vorkehrungen und Sicherheitsmaßnahmen den jeweiligen Anforderungen, den internationalen Erfahrungen und den Erkenntnissen aus eigenen Forschungsarbeiten anzupassen.

#### Der Österreichische Hochschulreaktor Wien

#### Beschreibung des Österreichischen Hochschulreaktors Wien

Vom Mitarbeiterstab der General Atomic, San Diego, USA

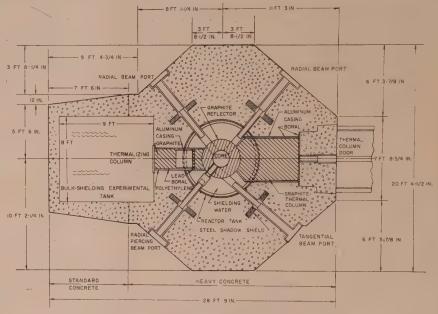
DK 621.039.572 (436.14): 621.039.524.6.043.482

Nach seiner Fertigstellung im Jahre 1961 wird der Österreichische Hochschulreaktor (AUSTRIA-100-kW-TRIGA-MARK-II-impulsbetriebener-Reaktor) als zweiter

Trainings- und Forschungsreaktor in Österreich und als erster Reaktor mit Impulsbetrieb bis zum Megawattleistungsniveau in Europa kritisch werden. Das Dauerleistungsniveau dieses Reaktors liegt bei 100 kW und sein maximales kurzzeitiges Niveau bei 250 MW. Der Übergang vom stetigen zum Impulsbetrieb geschieht denkbar einfach durch Drehen eines Schalters.

Der österreichische Hochschulreaktor wurde von General Atomic, Division of General Dynamics Corporation, für das Atominstitut in Wien entworfen. Der Reaktor ist in Besitz des Österreichischen Bundesministeriums für Unterricht und wird vom Atominstitut der österreichischen Hochschulen betrieben. General Atomic ist für die Konstruktion, den Bau und die Installation der einzelnen Komponenten und den Betriebsbeginn des Reaktors verantwortlich.

ecks. Der offene Reaktortank, 1,98 m im Durchmesser und 6,55 m hoch, wird an sieben Seiten durch Betonwände abgeschirmt, die auch die Löcher für die Strahl-



Horizontaler Schnitt in Höhe des Reaktorcores

rohre und eine thermische Säule enthalten. Auf der achten Seite befindet sich der große Abschirmtank. Die

> Abschirmung besteht aus Schwerbeton von etwa 2,08 m Dicke bis zu einer Höhe von 3,68 m und darüber aus Normalbeton von 1,14 m Dicke. Der Reaktortank ist mit demineralisiertem Wasser zum Zweck der Kühlung und Abschirmung angefüllt. Grund- und Aufriß des österreichischen Hochschulreaktors werden in Abb. 1 und 2 gezeigt.

# 1) Das Core

Das Reaktorcore (Abb. 3) hat zylindersymmetrische Anordnung und besteht aus zylindrischen Brennstoff-Moderator- und Graphitelementen. 35% des Corevolumens werden vom Wasser ausgefüllt. Die Brennstoffelemente stecken in regelmäßigen Abständen in den Löchern von Aluminiumplatten. Für einen stetigen 100-kW-Betrieb sind 60 Brennstoff-Moderatorelemente notwen-

dig, es ist aber Platz für 85 Elemente im Core. Jedes Standardelement enthält ungefähr 36 g U 235. Es werden auch teilweise geladene Brennstoffelemente mit

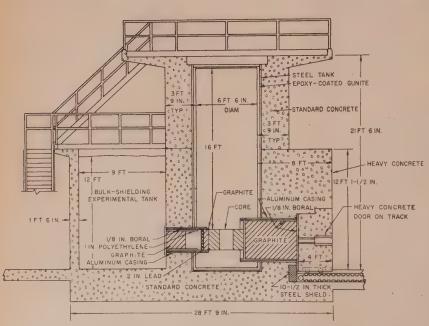


Abb. 2. Vertikaler Schnitt durch den Österreichischen Hochschulreaktor

Gegenwärtig wird am Reaktor gebaut, der in einer eigenen Halle des Atominstitutes aufgestellt wird. Der Reaktor hat die Form eines nahezu regelmäßigen Achtweniger U 235 benützt, um den exakten Betrag einer Überschußreaktivität im Core zu erhalten. Nach Verbrauch der Überschußreaktivität kann das Core neu angeordnet werden, und Graphitelemente können durch Brennstoffelemente ersetzt werden. Die Neutronenquelle, das pneumatische System, das zentrale Bestrahlungsrohr und drei Regelstäbe werden von oben her in das Core eingeführt. Das Core wird von einem radialen Graphitreflektor von 30,5 cm Dicke umgeben, der auf

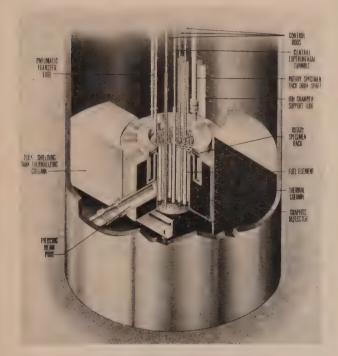


Abb. 3. Das Core des Österreichischen Hochschulreaktors

einem Aluminiumgestell auf dem Grund des Reaktortanks aufliegt. Das Core wird durch die natürliche Wasserzirkulation gekühlt; die im zirkulierenden Wasser aufgespeicherte Wärme wird durch einen Austauscher nach außen befördert.

#### 2) Brennstoffelemente

Abb. 4 zeigt ein Brennstoff-Moderatorelement. Mit den Aluminiumhalterungen an beiden Enden mißt das Element 72,2 cm in der Höhe und 3,7 cm im Durchmesser. Die Aluminiumscheibchen an den beiden Enden der aktiven Zone enthalten "Reaktorgift", das sich im Laufe der Zeit verbraucht und so der Verminderung der Reaktivität durch Neutronen stark absorbierende Spaltprodukte und durch den Brennstoffverbrauch nach längerem Betrieb entgegenwirkt. 10,2 cm lange Graphitstäbe über und unter der aktiven Zone eines Brennstabes dienen als Reflektoren. Die Brennstoffelemente sind mit 0,7 mm dickem Aluminium umhüllt. Die aktive Zone des Brennstoffelements (Abb. 4) besteht aus einer festen, homogenen Mischung einer hydrierten Uran-Zirkonlegierung aus 8 Gewichtsprozent Uran, das mit 20% U 235 angereichert ist. Diese Zusammensetzung aus Brennstoff und Moderator ergibt einen großen prompten negativen Temperaturkoeffizienten, der auch im Falle, daß die Überschußreaktivität plötzlich frei

wird, das Leistungsniveau des Reaktors sicher und wirksam beschränkt.

Für den Impulsbetrieb ist ein besonderes Brennstoffelement im Core mit drei Thermoelementen zur Temperaturmessung ausgestattet.

#### 3) Kontrolleinrichtungen

Die inhärente Sicherheit des Cores des Österreichischen Hochschulreaktors wurde am Prototyp-TRIGA-Reaktor der General Atomic durch eine Reihe von Experimenten untersucht. Diese Versuche zeigten, daß der prompte negative Temperaturkoeffizient, ohne daß man äußere Kontrolleinrichtungen braucht, den Reaktor selbst reguliert.

Dennoch hat man ein konventionelles Kontrollsystem für Unterrichtszwecke und genaue Einhaltung des Leistungsniveaus vorgesehen. Drei Regelstäbe aus Borkarbid sind vorhanden: Der eine Stab kontrolliert unge-

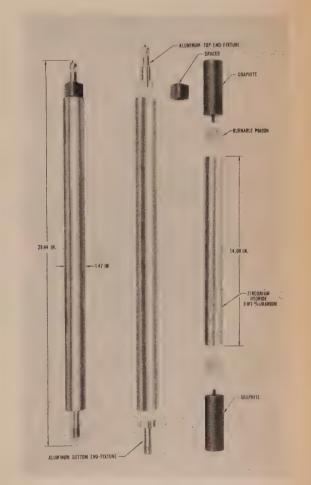


Abb. 4. Brennstoff-Moderatorelement

fähr 0.5%  $\delta$  k/k, jeder der beiden anderen kann allein soviel Reaktivität absorbieren, daß der Reaktor zum Stillstand kommt.

Der Antrieb für jeden der Regelstäbe, bestehend aus je einem Motor mit Übersetzung und Zahnstangenantrieb sowie einem Potentiometer für die Stabpositionsanzeige, befindet sich auf einer Brücke über dem Reaktortank. Die Regelstäbe sind mit ihrem Antriebsmechanismus durch Elektromagnete verbunden. Sollte es zu einem Stromausfall kommen, oder das "Scram"-Signal betätigt werden, dann werden die Magnete stromlos, und die Stäbe fallen in das Core hinein. Um den Aufprall zu dämpfen, sind Bremszylinder vorgesehen. Der Antriebsmotor ist ein Asynchronmotor mit Hilfsphase, der seine Drehrichtung schnell ändern kann. Um ihn schnell zum Stillstand zu bringen, sind Bremsen vorgesehen.

Die oberste und unterste Stellung des Magnets, die unterste Stellung des Stabes und der Kontakt des Regelstabes mit dem Magnet werden durch Schalter angezeigt. Der Antriebsmechanismus ist in einem Gehäuse eingeschlossen.

Ein Reaktorimpuls wird durch schnelles Herausschießen des einen Regelstabes auf pneumatischem Wege ausgelöst. Der gewünschte Betrag an Überschuß-

signal, das das Herausziehen der Kontrollstäbe ohne entsprechende Stärke der Neutronenquelle verhindert. Eine kompensierte Ionisationskammer ist mit einem log-n- und Reaktorperiodenkreis verbunden, der den Logarithmus der Leistung von ½10 W bis zur vollen Leistung auf einem Schreiber anzeigt. Ein Periodenmeßgerät umfaßt den Bereich von —40 über Unendlich bis +7 s. Der Periodenkreis kann auch ein Scramsignal auslösen. Ein Servoverstärker kann automatisch die Periode, mit der das Leistungsniveau zunimmt, regeln.

Der Leistungsmeßkanal Nr. 1 besteht aus einer kompensierten Ionisationskammer, die mit einem empfindlichen Verstärker und Schreiber verbunden ist. Ein Bereichsschalter gibt auf einer linearen Skala genaue Information vom Niveau der Neutronenquelle bis zur vollen Leistung. Dieser Kreis kann auch ein Scramsignal



Abb. 5. Das Bedienungspult

reaktivität muß vorher durch die Höhe dieses Regelstabes eingestellt werden. Bevor ein Impuls erzeugt wird, wird der Reaktor zuerst auf ein Leistungsniveau von ungefähr 100 W gebracht.

#### 4) Instrumentierung

Die Instrumentierung des Reaktors ist in einer voll transistorisierten Konsole untergebracht (Abb. 5). Ein Blockschaltbild der Konsole und der wesentlichen Komponenten des Regel- und Scramsystems ist Abb. 6 zu entnehmen.

Ein Spaltungszähler mit einem Impulsverstärker ist mit einem logarithmischen Ratemeterkreis verbunden und mißt die Leistung vom Niveau der Neutronenquelle bis zu einigen Watt. Dieser Kreis gibt auch ein Sperrauslösen. Der Leistungsmeßkanal Nr. 2 besteht aus einer unkompensierten Kammer, die mit einem Leistungsanzeiger und einem Meßgerät, das im Verhältnis zur vollen Leistung geeicht ist, verbunden ist. Dieser Kanal kann auch ein Scramsignal auslösen. Der Auslösepunkt dieses Signals ist von 20...120% der vollen Leistung einstellbar, die Periode von 7...30 s.

Ein Geigerzähler und ein Ratemeterkreis sind als Gammastrahlenmonitor für das Wasser gedacht. Dieser Kreis gibt ein sichtbares und hörbares Signal, wenn der Strahlungshintergrund einen normalen Wert übersteigt. Die Temperatur und Leitfähigkeit des Wassers werden ebenfalls gemessen.

Bei Impulsbetrieb werden durch einen besonderen Schalter alle Neutronenmeßkanäle außer der unkompensierten Kammer ausgeschaltet. Diese Kammer mißt über

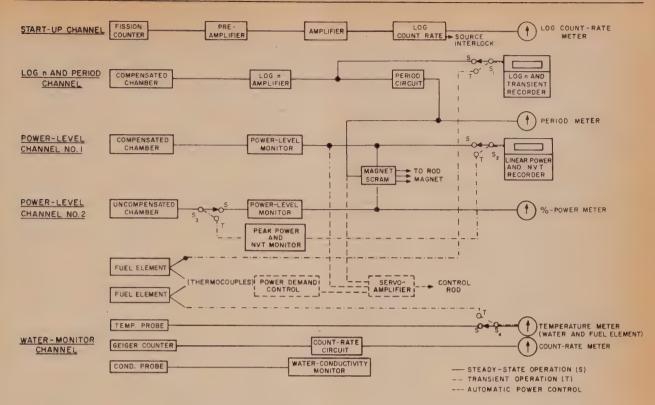


Abb. 6. Das Blockschaltbild für die Kontrolleinrichtung

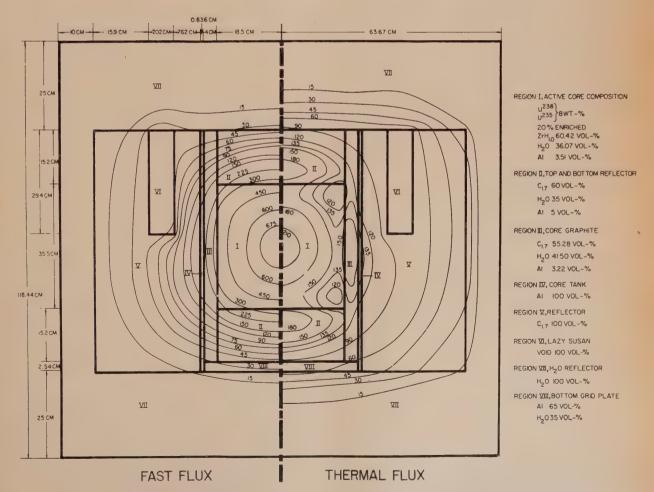


Abb. 7. Die Konturen des schnellen (lînks) und des thermischen (rechts) Flusses im schematisierten Core (in Einheiten von 10<sup>5</sup> Neutronen/cm² s W)

einen eigenen Kreis die Leistungsspitze und den integrierten Neutronenfluß nvt des Pulses, speichert die Information in einem Gedächtnis und gibt sie dann innerhalb einiger Sekunden an einen linearen Schreiber ab. Die Temperatur der Brennstäbe wird auch angezeigt.

Die Scramkreise des Dauerbetriebes sind für Impulsbetrieb abgeschaltet. Im Impulsbetrieb wird das Scramsignal nur durch übergroße Brennstofftemperatur oder zu großen integrierten Fluß nvt ausgelöst.

#### 5) Experimente und Bestrahlung

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Einrichtungen für Experimente, Bestrahlung und Isotopenherstellung.

#### 5,1) Thermische Säule

Die thermische Säule zwischen dem Reflektor und der Betonwand hat eine Ausdehnung von  $1,22 \times 1,22 \times 1,68$  m und dient als Strahlungsquelle thermischer Neutronen für physikalische und biologische Experimente.

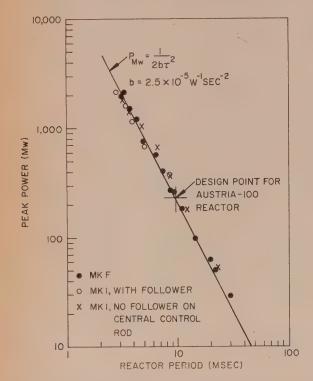


Abb. 8. Die Leistungsspitze als Funktion der Reaktorperiode beim Impulsbetrieb verschiedener TRIGA-Reaktoren. Die Lage des Österreichischen Hochschulreaktors ist angegeben

Die Säule enthält einige entfernbare Graphitblöcke. Die Außenseite der thermischen Säule ist durch ein 1,07 m dickes Betontor abgeschirmt. Die thermische Säule ist von Boral umhüllt, um die Aktivierung des Betons durch thermische Neutronen niedrig zu halten.

#### 5,2) Strahlrohre

Vier horizontale Strahlrohre mit 15 cm Durchmesser führen durch die Abschirmung in den Reaktortank und ermöglichen die Bestrahlung von Proben mit Neutronenoder Gammastrahlen. Die Verschlüsse der Strahlrohre können durch Kollimatoren ersetzt werden, um für bestimmte Experimente einen wohldefinierten Neutronenstrahl zu erhalten. Zwei Strahlrohre gehen radial bis zum Corereflektor weiter. Ein weiteres Strahlrohr durchdringt sogar den Reflektor bis zum Core und ermög-

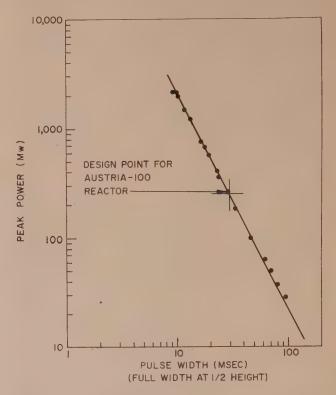


Abb. 9. Die Leistungsspitze als Funktion der Impulsbreite

licht, daß Proben direkt den hohen Flüssen im Reflektor ausgesetzt werden können. Das vierte Strahlrohr geht tangential am Core vorbei.

#### 5,3) Isotopenerzeugung

Ein Drehkranz für Isotopenerzeugung und Aktivierungsanalyse ist an der Oberseite des Cores in den Reflektor eingelassen. Dieser Drehkranz hat 40 Aluminiumbehälter von 10,1 cm Höhe und 2,5 cm Durchmesser für die Aufnahme spezieller Probenbehälter. Durch ein Rohr können diese Proben eingeführt und wieder herausgeholt werden. 80 Probenbehälter mit einem Gesamtvolumen von 2 800 cm³ können gleichzeitig bestrahlt werden. Um die Probe herauszuholen, wird der Kranz in die gewünschte Lage gedreht, ein besonderer Mechanismus wird durch das Rohr hinuntergelassen, um den Behälter zu greifen und herauszuziehen.

#### 5,4) Pneumatisches System

Ein pneumatisches System erlaubt die schnelle Einführung und Entfernung der Probe zur Erzeugung von Radioisotopen mit sehr kurzen Halbwertszeiten. Das System besteht aus zwei Röhren, die ein Gebiet mit hohem Fluß im Core mit einem nahegelegenen Laboratorium verbinden. Sobald ein Probenbehälter in das System eingebracht wurde, wird er pneumatisch ins Core geschossen, nach der Bestrahlung wieder ausgestoßen und ins Laboratorium zurückgebracht.

Für Abschirmexperimente und Materialprüfung ist ein Abschirmtank von 2,74 m Länge, 2,44 m Breite und 3,66 m Tiefe vorhanden. Eine thermische Säule geht vom Core bis zum Rand dieses Tanks.

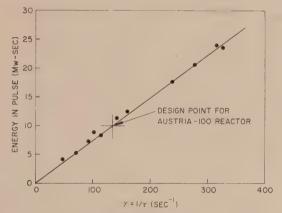
#### 5,6) Experimente im zentralen Bestrahlungsrohr

Eine zentrale Röhre mit 3,4 cm Durchmesser geht ins Zentrum des Cores in das Gebiet des maximalen Flusses und statistischen Gewichts. Sie kann für Isotopenerzeugung, für Experimente mit Pileoszillatoren und zur Bestimmung des Vergiftungskoeffizienten benützt werden. Ein maximaler Fluß von 4,0 · 10<sup>12</sup> Neutronen/cm² s ist dort bei einem Betrieb von 100 kW verfügbar.

#### 6) Betriebseigenschaften

#### 6.1) Neutronenfluß

Abb. 7 zeigt den Verlauf des schnellen und langsamen Flusses, wie man ihn aus einer zweidimensionalen Zweigruppenberechnung mit einer IBM-704-Rechenanlage erhält. In dieser Abbildung werden die verschiedenen Gebiete dieser Berechnung gezeigt, die ziemlich gut mit den wirklichen Dimensionen und der Zusammensetzung des Reaktors übereinstimmen. Die Flußkonturen sind in Einheiten von 105 Neutronen/ cm<sup>2</sup> s W gegeben. Die linke Hälfte des Diagramms



Die Energie des Impulses als Funktion der Reaktorperiode

zeigt den Fluß der schnellen Neutronen und die rechte den der langsamen. Das zentrale Bestrahlungsrohr, mit Wasser gefüllt, wird nicht als eigene Region für diese Berechnung berücksichtigt. Der thermische Fluß ist fast zweimal so groß, wenn das zentrale Bestrahlungsrohr mit Wasser an Stelle von Brennstoff gefüllt ist. Berechnungen und Messungen ergeben einen thermischen Fluß von 4 · 10<sup>12</sup> Neutronen/cm<sup>2</sup> s im Zentrum des Cores bei einem Leistungsniveau von 100 kW.

In Abb. 8, 9 und 10 sind die Ergebnisse von Experimenten zusammengestellt, die in einer schrittweisen Erhöhung der Reaktivität bestehen und von der General Atomic im John Jay Hopkins Laboratory am Prototyp des TRIGA-Reaktors und am TRIGA-Mark-F, einem bereits weiterentwickelten Reaktor für Impulsbetrieb, angestellt wurden. Jeder Punkt der Kurve stellt bereits einen Mittelwert über mehrere Experimente der Leistungsperiode und Impulsweite dar. Der Punkt für

den Betrieb des Österreichischen Hochschulreaktors ist ebenfalls angegeben. Es sei auch noch bemerkt, daß der Prototypreaktor weit über die normalen Betriebsbedingungen, die an den Österreichischen Hochschulreaktor gestellt werden, in Experimenten beansprucht wurde.

Abb. 8 zeigt die Leistungsspitze als Funktion der Reaktorperiode. Dieselben Werte der Leistungsspitze wie in Abb. 8 wurden in Abb. 9 benutzt und als Funktion der Impulsbreite gezeichnet. Diese Ergebnisse stellen eine glattere Kurve dar, weil die Impulsbreite leichter zu messen ist.

Abb. 10 gibt die Gesamtenergie als Funktion der inversen Periode für den TRIGA-Mark-F an.

#### 7) Zusammenfassung der technischen Daten und der nuklearen Charakteristika des Österreichischen Hachschulraaktar

Hochso	hulreaktors
7,3	l) Core
Brennstoff-Moderator- Material	8 Gewichtsprozent Uran, 91 Gewichtsprozent Zirkon, 1 Gewichtsprozent Wassersto
Urananreicherung Brennstoffelement- abmessungen	20 % U <sup>235</sup> 3,75 cm Durchmesser und
Umhüllung	72,24 cm lang 0,076 cm Aluminium etwa 60¹)
Graphitelemente Dimensionen des aktiven Corevolumens	25 <sup>1</sup> ) 35,56 cm Durchmesser und
Coreladung	35,56 cm hoch ~ 2,3 kg U <sup>235</sup>
7,2)	Reflektor
Material	Graphit mit Aluminium- umhüllung 30,5 cm 10,2 cm
7,3)	Baumaße
	schwerer und Normalbeton: Höhe 6,55 m, Breite 6,19 m,
Reaktortank	Länge 8,76 m 1,98 m Durchmesser und 6,40 m tief
7,4) A	bschirmung
Radial	30,5 cm Graphit, 45,7 cm Wasse und mindestens 206 cm Schwe beton
Vertikal	über dem Core:

beton

4,90 m Wasser und

61,0 cm Wasser, 10,2 cm Graphit

und mindestens 91 cm Normal-

10,2 cm Graphit

unter dem Core:

<sup>1)</sup> Die Gesamtzahl der Brennstoff-Moderator- und Graphitelemente wird 85 sein. Die Zahl der Brennstoff-Moderatorelemente, die sowohl in Standardausführung als auch mit Meßanschlüssen versehen geliefert werden, reicht für eine anfängliche Überschußreaktivität von 1,5% δ k/k aus. Es wird geschätzt, daß etwa 60 Brennstoffmoderatorelemente benötigt werden. Zusätzlich werden Graphitelemente geliefert.

#### 7,5) Experimentier- und Bestrahlungseinrichtungen

Halterung für 40 Behälter im
Graphitreflektor
Lage: Nähe des Corerandes
Lage: Mitte des Cores (Gebiet
des maximalen Flusses)
im Wasser über und um den
Graphitreflektor
$1,22 \times 1,22$ m Querdurchschnitt
und 1,68 m lang
15,2 cm Durchmesser
61 × 61 cm Querschnitt und
1,22 cm lang
$2,44 \times 2,74$ m und $3,66$ m tief

#### 7,6) Regeleinrichtung

Borkarbid-Regelstäbe	٠.	٠	2
Borkarbid-Impulsstab			1

#### Antrieb

Regelstäbe	 Zahnstange un	d Zahnrad
Impulsetah	Luftdruckkolbe	n

#### Maximaler Reaktivitäts-

					ı
C	m	C	3:	1	7
-	**		u	4	2

Zeitliche Änderung (Impulsvorgang ausge-

#### 7,7) Thermische Daten

Leistung	(Dauerbetrieb)		bis	zu	100	kW

Kühlungsart:

Brennstoffelemente .... natürliche Konvektion des

Reaktorwasser ...... Wärmeaustauscher

#### 7,8) Impulseigenschaften

Spitzenleistung	250 MW
Energieabgabe	
(prompter Impulsstab)	10 MWs
Energieabgabe (bis zur	
maximalen Temperatur)	15 MWs
Impulsbreite	35 ms
Minimale Periode	10 ms
Reaktivitätseinsatz	
(maximal)	1,5 % δ k/k
Maximale Wiederholungs-	
rate (für reproduzierbare	
Impulse)	12/h
Maximale Brennstoff-	
clementtemperatur	
(prompter Impuls)	240 °C
Maximale Brennstoff-	
elementtemperatur (9 s	
nach Leistungsspitze)	360 °C
# O\ 3.7	
7,9) Nu	kleare Daten
Thermischer Fluß bei	
100 kW:	
Durchschnitt im Core	1,6 · 1012 Neutronen/

Thermischer Fluß bei	
100 kW:	
Durchschnitt im Core	1,6 · 10 <sup>12</sup> Neutronen/cm <sup>2</sup>
an der Drehkranz-	
einrichtung	0,7 · 10 <sup>12</sup> Neutronen/cm <sup>2</sup>
im zentralen Be-	
strahlungsrohr	4,0 · 10 <sup>12</sup> Neutronen/cm <sup>2</sup>
anfängliche Überschuß-	
reaktivität	1,5 % δ k/k
prompter Temperatur-	
koeffizient der	
Reaktivität (50°C)	$-1,2 \cdot 10^{-4}$ δ k/k °C
Void-Koeffizient der	
Reaktivität	0,002 k/k1 º/o Void
Mittlere Lebensdauer der	
prompten Neutronen	$6.0 \cdot 10^{-5}  \mathrm{s}$

## Neutronenverlangsamung im Zirkonhydrid und der prompte negative Temperaturkoeffizient des TRIGA

Von E. K. Björnerud und M. O. Stern, San Diego, USA

DK 621.039.532.6:621.039.514.4

#### Zusammenfassung

Dieser Artikel beschäftigt sich mit den verschiedenen physikalischen Vorgängen, die den großen prompten negativen Temperaturkoeffizienten des TRIGA-Reaktors verursachen, und somit seine inhärente Sicherheit. Im Abschnitt 1) wird die Notwendigkeit für die inhärente Reaktorsicherheit erklärt und der Grund angegeben, warum Zirkonhydrid als Moderator für den Triga ausgewählt wurde. Im Abschnitt 2) folgt eine kurze Behandlung der moderierenden Eigenschaften des Zirkonhydridgitters und eine Zusammenfassung der Experimente, die von Mitarbeitern der General Atomic angestellt wurden, und die zeigen, daß die Neutronenverlangsamung im thermischen Bereich in ZrH<sub>n</sub> ziemlich ungewöhnlich ist und eher durch das Einstein-Modell der Kristallbindung erklärt werden kann als durch das übliche Debye-Modell. Im Abschnitt 3) wird in einer kurzen Diskussion gezeigt, wie man das kinetische Verhalten des Reaktors mit Hilfe des Einstein-Modells berechnen kann. Zum Vergleich werden die experimentellen Ergebnisse des prompten negativen Temperaturkoeffizienten angeführt.

#### 1) Kriterien für die Reaktorsicherheit und Reaktorplanung

Schon 1956 war die Reaktortechnologie so weit fortgeschritten, daß verschiedene Typen von Forschungs-, Trainings- und Kraftwerksreaktoren konstruiert und in Betrieb gehalten wurden. Ein ziemlicher Fortschritt war schon erreicht, bei der Planung von Sicherheitssystemen für Reaktoren Reaktorunfälle unwahrscheinlich zu machen, aber keines dieser Systeme ergab eine vollkommene oder inhärente Sicherheit im Reaktor.

General Atomic glaubte deshalb, daß die Entwicklung einer neuen, völlig inhärent sicheren Reaktortype nicht nur einen wichtigen technischen Fortschritt bedeuten, sondern auch die Ausbildung von Wissenschaftlern und Technikern erleichtern würde.

General Atomic entschloß sich, die Idee der inhärenten Reaktorsicherheit zuerst durch Planung und Konstruktion eines 10-kW-Reaktors für Training, Forschung und Isotopenerzeugung in die Praxis umzusetzen [1]. Solch ein Reaktor sollte besonders für Universitäten, Industrielaboratorien und Spitäler geeignet sein. Das Ergebnis — der TRIGA-Reaktor — wurde so der Proto-

typ einer neuen inhärent sicheren Reaktorbauart, die bereits in der ganzen Welt eine gute Aufnahme gefunden hat.

#### 1,1) Sicherheitskriterien

Wenn ein Reaktor als Trainings- und Forschungsreaktor an Universitäten und ähnlichen Instituten dienen soll, muß man vollkommene Betriebssicherheit verlangen. Vollkommene Betriebssicherheit des Reaktors bedeutet, daß der Reaktor nicht durchgehen kann, auch wenn die gesamte Überschußreaktivität plötzlich frei wird. Um im Betrieb sicher zu sein, muß der Reaktor innerhalb weniger Millisekunden auf einen plötzlichen Leistungsanstieg reagieren. Natürlich will man nicht nur von der schnellen Einführung eines Regelstabes abhängig sein, der durch ein elektronisches Signal von einem Strahlungsmonitor ausgelöst und aus seiner Ruhestellung heraus beschleunigt wird. Vielversprechend war die Planung eines Reaktors mit inhärenter Sicherheit, d. h. eines Reaktors, bei dem der Temperaturanstieg im Brennstoffe direkt und automatisch die Reaktivität vermindert. Mit anderen Worten, es war die Aufgabe, einen Reaktor mit einem großen, prompten negativen Temperaturkoeffizienten zu entwickeln.

#### 1,2) Die Lösung dieser Aufgabe ist der feste homogene Reaktor

Ein prompter negativer Temperaturkoeffizient ergibt sich z. B., wenn der Brennstoff U 238 enthält. Bei Erwärmung des Brennstoffes wird die Resonanzabsorption des U 238, die sich normalerweise stark selbst abschirmt, durch den Doppler-Effekt so verbreitert, daß mehr Neutronen parasitisch eingefangen werden. Der Beitrag ist meist zu vernachlässigen, außer der Resonanzeinfang ist ziemlich groß, was dann zutrifft, wenn U 238 homogen im Moderator verteilt ist. Es liegt daher nahe, ein homogenes Gemisch von Uran und Moderator zu verwenden.

Ein anderer Beitrag zum prompten negativen Temperaturkoeffizienten in einem Reaktor, in dem Brennstoff und Moderator gut vermischt sind, rührt von dem Umstand her, daß eine Temperaturerhöhung des Brennstoff-Moderatorelements die Neutronenverteilung verschlechtert. Zum Beispiel kommt in einem homogenen Flüssigkeitsreaktor, in dem mäßig angereichertes U 235 in viel Wasser gelöst ist, um eine hinreichende Termalisierung der Neutronen zu gewährleisten, der große prompte negative Temperaturkoeffizient zum Großteil von der Wärmeausdehnung der Brennstofflösung. Es läßt sich aber nicht verhindern, daß eine Brennstofflösung korrosiv ist, so daß der Behälter nach einer bestimmten Zeit ausgewechselt werden muß. Wegen der hohen Radioaktivität der Brennstofflösung sind daher komplizierte Zusatzeinrichtungen und Verfahren notwendig. Die Entwicklung radioaktiver Gase stellt ein weiteres Betriebsproblem dar. Allfällige Reaktorunfälle, verbunden mit dem Austreten der Brennstofflösung, würden schwierigere Probleme für die Verseuchung mit sich bringen, als wenn man den Brennstoff in fester Form verwendete.

General Atomic entschied sich daher für die Entwicklung eines festen, homogenen Cores mit einem großen negativen Temperaturkoeffizienten und großer chemischer Stabilität bis zu hohen Temperaturen.

#### 1,3) Probleme des Brennstoff-Moderatormaterials

Eine große Zahl fester Stoffe erschien als Moderator vielversprechend, aber schon eine vorläufige Prüfung ergab nur vier praktische Möglichkeiten: Beryllium, Berylliumoxyd, Graphit und Zirkonhydrid. Beryllium und Berylliumoxyd wurden ihres niedrigen Atomgewichts, ihrer relativ hohen Dichte und wegen des Vorteiles einer (n, 2n)-Reaktion in Beryllium bei hohen Neutronengeschwindigkeiten in Erwägung gezogen. Graphit hat zwar höheres Atomgewicht, hat aber einen kleineren thermischen Neutronenabsorptionsquerschnitt und ungefähr dieselbe Dichte wie Beryllium. Zirkonhydrid hat den Vorteil, daß Wasserstoff der Moderator ist, wenigstens für Neutronen höherer Energien.

Beryllium und Berylliumoxyd haben einen höheren Temperaturkoeffizienten, sind aber teurer als Graphit und Zirkonhydrid. Graphit hat den Vorteil eines besseren Temperaturkoeffizienten und niedrigeren Preises, andererseits hat ein mit Zirkonhydrid moderierter Reaktor eine viel geringere kritische Masse und somit einen höheren thermischen Fluß. Daher wählte General Atomic als Moderator für den festen homogenen Reaktor Zirkonhydrid.

Die intensive Entwicklungsarbeit der General Atomic führte schließlich zu einem brauchbaren Brennstoff-Moderatorelement aus Uran und Zirkonhydrid. Umfassende Untersuchungen der physikalischen, chemischen, thermodynamischen sowie der metallurgischen Eigenschaften des Zirkonhydrids von der Struktur des einzelnen Kristalls bis zur Erzeugung eines Brennstoff-Moderatorstabes mußten ausgeführt werden. Der TRIGA-Reaktor benützt heute dieses feste, homogene Brennstoffelement, in dem das Zirkonhydrid mit 20% angereichertem U 235 homogen vermischt ist.

#### 2) Die moderierenden Eigenschaften des Zirkonhydridgitters

Man kann ziemlich genau qualitative Abschätzungen über die moderierenden Eigenschaften des ZrH-Gitters für nicht thermische Neutronen angeben. Über einer gewissen Neutronenenergie, die für die meisten kristallinen Moderatoren, z. B. Beryllium, bei 0,1 eV liegt und die für die Bindungsenergie im Gitter charakteristisch ist, verhalten sich die Kristallatome, als ob sie frei wären<sup>1</sup>). Für den ZrH-Moderator bedeutet das, daß der freie Neutronen-Protonen-Streuquerschnitt ( $\sigma = 20.3$ barns) und der durchschnittliche Abbremsparameter für freien Wasserstoff ( $\xi = 1,0$ ) vorherrschen. So kann man für nichtthermische Neutronen ähnlich wie bei Wasser und anderen Wasserstoff enthaltenden Substanzen auch beim Zirkonhydrid erwarten, daß es ein sehr guter Neutronenmoderator ist: wegen des großen Wirkungsquerschnitts sind Neutron-Proton-Zusammenstöße häufig, und wegen des großen Abbremsparameters nimmt

¹) Die Theorie dieser Bindungseffekte wurde von Mark Nelkin im Aufsatz: Neutron Thermalization II, Heavy Cristalline Moderator, Nuclear Sci and Eng., Vol. 2 (1957), S. 199...212, behandelt. Insbesondere wird auf eine Berechnung für Beryllium in einer Arbeit von L. S. Kothari und K. S. Singwi: Slowing Down of Neutrons in Beryllium from 1,44 eV to Thermal Energy, J. Nucl. Energy, Vol. 5 (1957), S. 342...356, verwiesen.

die Neutronenenergie durchschnittlich um  $63\,\mathrm{^0/o}$  pro Stoß ab.

Was aber für die Reaktorkinetik wesentlich ist, nämlich das Verhalten der Neutronen, wenn sie sich dem thermischen Gleichgewicht mit dem ZrH-Gitter nähern, ist sehr schwer vorauszusagen. Unter 0,1 eV werden die Schwingungsfreiheitsgrade vermindert, der Streuquerschnitt nimmt auf 81,4 barns in dem Maße zu, wie die reduzierte Masse von 1/2 auf 1 zunimmt. Ohne tiefere Kenntnis der Kräfte im ZrH-Gitter kann nichts Bestimmtes mehr vorausgesagt werden. Wenn dieses Gitter dem üblichen Typ des Kristallgitters (wie bei Beryllium) gleicht, werden die Neutronen durch inelastische Streuung verlangsamt, was wiederum Schallwellen im Kristall erzeugt; und diese akustische oder Debyestreuung wird die Fähigkeit des Gitters, zu moderieren, nur schrittweise herabsetzen, in dem Maße, wie sich die Neutronenenergie der des Gitters nähert. Aus den üblichen Gründen könnte man deshalb erwarten, daß ZrH seine guten moderierenden Eigenschaften auch im thermischen Bereich beibehält.

#### 2,1) Die Experimente in Brookhaven

Um die moderierenden Eigenschaften des ZrH<sub>n</sub> zu bestimmen, wurden verschiedene Experimente angestellt. Sie wurden von Mitarbeitern der General Atomic am 25-MW-Brookhaven-Forschungsreaktor durchgeführt<sup>2</sup>). Ein starker Strahl monochromatischer Neutronen von sehr kleiner Energie wurde auf einen ZrH-Kristall, der auf einer bestimmten Temperatur gehalten wurde, gelenkt, und das Energiespektrum der gestreuten Neutronen gemessen:

Zuerst wurde der durchschnittliche Energieverlust der gestreuten Neutronen als Funktion der Energie und des Winkels für  $\operatorname{ZrH}_n$  und andere Wasserstoff enthaltende Substanzen bei Raumtemperatur gemessen. Dann wurde das Energiespektrum sehr kalter Neutronen, die in einem bestimmten Winkel aus dem  $\operatorname{ZrH}_n$  gestreut wurden, als Funktion der Temperatur des  $\operatorname{ZrH}_n$  gemessen. Schließlich wurde der totale Wirkungsquerschnitt für Neutronen im  $\operatorname{ZrH}_n$  als Funktion der Neutronenenergie erhalten.

Das Ergebnis dieser Experimente war:

- (1) Für Neutronenenergien über 0.13 eV sind die moderierenden Eigenschaften des  $\text{ZrH}_n$  mindestens so gut wie von freiem Wasserstoff. Unter dieser Energie werden sie rapid schlechter.
- (2) Kalte Neutronen werden beim Durchgang durch ZrH<sub>n</sub> durch Aufnahme von Energie in Vielfachen von 0,13 eV schneller. Je höher die Hydridtemperatur, desto häufiger wird dieser Prozeß eintreten.
- (3) Diese beiden Ergebnisse scheinen vom Verhältnis der Wasserstoffatome zu den Zirkonatomen unabhängig zu sein.

#### 2,2) Das theoretische Modell

Die Ergebnisse der Experimente legen nahe, daß sich die Wasserstoffatome im  $ZrH_n$  wie harmonische oder Einstein-Oszillatoren verhalten. Im sogenannten Einsteinmodell stellt man sich das Atom isotrop an einfestes Zentrum gebunden vor, um das es harmonisch oszilliert. Dieser Oszillator hat die möglichen Energie-

zustände  $\left(n+\frac{3}{2}\right)hv$ , h ist das Plancksche Wirkungsquant, v die Frequenz des Oszillators, n eine ganze Zahl. Beim Zusammenstoß mit einem solchen Oszillator kann ein Neutron nur ein Vielfaches der Energie hv gewinnen oder verlieren.

Folgendes Modell wurde also angenommen: Die Wasserstoffatome verhalten sich so, als ob sie isotrop in einem annähernd harmonischen Potentialfeld mit einer Frequenz  $\nu$  oszillieren, entsprechend einer Energie von  $h\nu=0,130$  eV, wie es auch beobachtet wurde. Das beobachtete Spektrum ist durch die thermische Bewegung der Zirkonatome, an die die Wasserstoffatome gebunden sind, etwas verbreitert. Wegen des anharmonischen Anteils zum Potential werden die Niveaus nicht in ganz regelmäßigen Abständen aufeinanderfolgen.

In einem solchen Modell kann das Neutron Energie nur in Vielfachen von  $h\nu = 0.13 \,\mathrm{eV}$  verlieren, solange seine Energie über 0,13 eV liegt. Unter 0,13 eV kann das Neutron noch immer durch einen etwas unwirksameren Prozeß Energie verlieren, bei dem der Stoß mit einem Wert von  $\xi \sigma_s$  eintritt, der dem Wirkungsquerschnitt eines gebundenen Wasserstoffatoms os mit einem Energieverlust  $\xi$  entspricht, wobei der  $\xi$ -Wert des Zirkons oder ein noch kleinerer einzusetzen ist. Außerdem kann aber ein Neutron ein oder mehrere Quanten  $h\nu$  in einem oder mehreren Zusammenstößen mit angeregten Einsteinoszillatoren gewinnen. Weil die Zahl der angeregten Oszillatoren im ZrH<sub>n</sub>-Gitter mit der Temperatur zunimmt, hängt dieser Prozeß der Geschwindigkeitserhöhung der Neutronen stark von der Temperatur ab und wird beim Abbremsvorgang im Reaktor eine wichtige Rolle spielen.

#### 3) Das Verhalten eines mit Zirkonhydrid moderierten Reaktors

Unter der Annahme des Einsteinmodells für die Verlangsamung der Neutronen im Zirkonhydrid kann man schon einige qualitative Aussagen über das Temperaturverhalten eines solchen Reaktors machen.

Der grundlegende physikalische Prozeß bei der Erwärmung der Brennstoff-Moderatorelemente kann folgendermaßen beschrieben werden. Eine Erhöhung der Temperatur des Hydrids vergrößert die Wahrscheinlichkeit, daß ein thermisches Neutron im Brennstoffelement Energie aus einem Erregungszustand eines schwingenden Wasserstoffatoms im Gitter gewinnt. Weil es dann eine größere freie Weglänge für Zusammenstöße hat, vergrößert sich die Wahrscheinlichkeit der schneller gewordenen Neutronen, aus dem Brennstoff-Moderatorelement auszutreten. Die Wasserkanäle zwischen den Brennstoffelementen thermalisieren diese aus dem Brennstoff ausgetretenen Neutronen sehr wirksam. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Neutron in das Brennstoffelement zurückkommt, bevor es anderswo eingefangen wird, von der Temperatur des Hydrids wenig abhängig.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>) Die Experimente in Brookhaven und ihre Ergebnisse sind beschrieben bei A. W. McReynolds, M. S. Nelkin, M. N. Rosenbluth und W. L. Whittemore in: Neutron Thermalization by Chemically-bound Hydrogen and Carbon. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 16 (1959), S. 297...313.

#### 3,1) Der prompte negative Temperaturkoeffizient

Der prompte negative Temperaturkoeffizient des mit Zirkonhydrid moderierten Reaktors steht in enger Verbindung mit der Änderung des thermischen Spektrums, das durch die Erwärmung des Zirkonhydrids verursacht wird. Eine quantitative Beschreibung dieses Beitrages verlangt erstens eine Kenntnis des differentiellen energieabhängigen Wirkungsquerschnitts für langsame Neutronen in Wasser und Zirkonhydrid und zweitens ein Mehrgruppenprogramm, das die Übergänge der einzelnen Gruppen sowohl durch Erhöhung als auch durch Verringerung der Geschwindigkeit berücksichtigt. Diese Effekte können auch durch die viel einfachere Zweigruppendiffusionsmethode angenähert werden, in der Verlangsamung auf eine Energie von 0,13 eV so behandelt wird wie für wasserstoffhaltige Stoffe, wo der Wasserstoff als nicht gebunden angenommen wird, so daß als Wirkungsquerschnitte für die obere Gruppe gewöhnlichen genommen werden. Die untere Gruppe enthält nicht nur Neutronen unter 0,13 eV, sondern auch solche zwischen 0,13 eV und 0,26 eV, die ein Einsteinquantum aus dem ZrH-Gitter aufgenommen haben.

ZrH ist für die Verlangsamung der Neutronen unter 0,13 eV unwirksam. Wenn kein anderer Moderator vorhanden ist, wird jeder Effekt aus der Erwärmung des Gitters schwach sein. Erst das Vorhandensein des Wassers bewirkt, daß der "Warmneutronen-Effekt" einen merklichen Beitrag zum Temperaturkoeffizienten liefert. Das Wasser moderiert gut unter 0,13 eV, so daß man das Neutronenspektrum im Wasser durch eine Maxwellsche Verteilung bei der Wassertemperatur darstellen kann. Die thermischen Neutronen der Energie E können in das feste Brennstoff-Moderatormaterial zurückdiffundieren, wo wieder ein Teil der Neutronen auf eine Energie  $E+h\nu$  kommt.

So ergibt sich das modifizierte thermische Spektrum im Brennstoff als eine Maxwellsche Verteilung bei der Wassertemperatur mit einer scharfen Energiespitze zwischen 0,13 und 0,26 eV. Man braucht also nur das Mittel für den thermischen Diffusionskoeffizienten, den thermischen Absorptionsquerschnitt und den Spaltquerschnitt bezüglich dieses Spektrums zu bilden und dann die Zweigruppen-Gleichung zu lösen, um den "Warmneutronen-Effekt" zu berechnen. Man findet, daß der Temperaturkoeffizient proportional der Ableitung der Zahl der "erwärmten" Neutronen nach der Temperatur ist.

Die Berechnung des prompten Temperaturkoeffizienten wurde erst in letzter Zeit durch verfeinerte Methoden mit Hilfe des DSN-Mehrgruppen-Transport-Codes aus dem Los Alamos Scientific Laboratory durchgeführt. Diese Methoden sind sehr kompliziert und erfordern lange Rechenzeiten auf elektronischen Maschinen, aber die Ergebnisse stehen in ausgezeichneter Übereinstimmung mit den Messungen.

Dazu gibt es noch zwei, allerdings geringe Beiträge zum prompten negativen Temperaturkoeffizienten des TRIGA. Der erste ist die Doppler-Verbreiterung der U-238-Resonanzabsorption [3].

Die Gegenwart von U 238 im Brennstoff verursacht eine Resonanzabsorption der Neutronen zwischen 6 eV und 1 000 eV. Die unteren U-238-Resonanzen sind so stark, daß sie den Fluß im Brennstoffelement bei der Resonanzenergie stark herabdrücken. Wegen der vergrößerten thermischen Bewegung der U-238-Atome bei höheren Temperaturen werden die Resonanzen durch den Dopplereffekt verbreitert, und der Neutroneneinfang wird vergrößert. Der zweite Effekt ist die Ausdehnung des Brennstoffelements mit der Temperatur und die damit verbundene Verdrängung von Wasser. Aus dem gemessenen Blasenkoeffizienten des TRIGA und aus dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Zirkonhydrid kommt man zu einem Beitrag von weniger als 10 % zum totalen prompten Temperaturkoeffizienten. Weil die Umhüllung der Brennstoffelemente nicht mit dem Brennstoff fest verbunden ist, so hat sie wahrscheinlich erst bei höherer Brennstofftemperatur einen merklichen Anteil.

Die drei erwähnten Beiträge — Änderung im Neutronenspektrum, Doppler-Verbreiterung der U-238-Resonanz und die Verdrängung von Corewasser — summieren sich zu einem errechneten prompten Temperaturkoeffizienten für den TRIGA von —1,1  $\cdot$  10<sup>-4</sup>/ $^{\circ}$ C im Mittel von 20  $^{\circ}$ C . . . 220  $^{\circ}$ C.

#### 3,2) Der verzögerte Temperaturkoeffizient

Der verzögerte Temperaturkoeffizient, der in erster Linie durch das Wasser zwischen den sich erwärmenden Brennstoffelementen verursacht wird, kann auch berechnet werden.

Bei der Erwärmung des Wasser wird zunächst seine Dichte geringer. Weil der Reaktor etwas untermoderiert ist, nimmt die Reaktivität ab und gibt so Anlaß zu

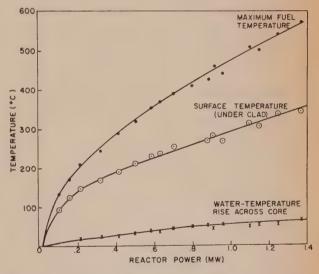


Abb. 1. Die maximale Brennstofftemperatur, die Temperatur an der Oberfläche des Brennelements und der mittlere Temperaturanstieg des Corewassers als Funktion der Leistung des Reaktors

einem negativen verzögerten Temperaturkoeffizienten. Ein weiterer negativer Beitrag ergibt sich aus der Erwärmung der Neutronen, was wiederum das Entweichen thermischer Neutronen aus dem Core begünstigt. Schließlich vergrößert die Erwärmung die mittlere Transportweglänge im Wasser, erleichtert das Eindringen thermischer Neutronen in den Brennstoff und vergrößert wieder den Fluß im Core. Dieser Effekt liefert einen positiven verzögerten Koeffizienten. Der ver-

zögerte Koeffizient, sogenannte "Badkoeffizient", wurde als Differenz des totalen (prompt plus verzögert) und des prompten Temperaturkoeffizienten gemessen.

Der totale Koeffizient ist klein und positiv unterhalb der Zimmertemperatur, wird negativ bei höheren Temperaturen und trägt so etwas zur Reaktorstabilität bei.

#### 3,3) Experimentelle Messungen

Verschiedene Experimente wurden an dem Prototyp des TRIGA angestellt, um das Temperaturverhalten dieses Reaktors zu untersuchen. Sie sind in [4] eingehender beschrieben.

#### 3,4) Grundlegende Experimente

Die ursprünglichen Experimente am Reaktor zeigten, daß bei gleichzeitiger Erwärmung von Brennstoff und Wasser sich die Reaktivität nur wenig ändert (von  $+1.0 \cdot 10^{-5}$ /° C bei 10 ° C bis  $-0.8 \cdot 10^{-5}$ /° C bei 60° C). Wenn aber der Reaktor bei höherer Energie läuft und die Temperatur der Brennstoffelemente über der des Wassers liegt, nimmt die Reaktivität stark ab (ungefähr  $-1.2 \cdot 10^{-4}$ /° C im Mittel bei einer Erhöhung

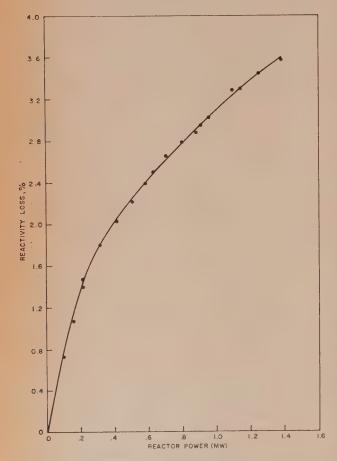


Abb. 2. Der Reaktivitätsverlust als Funktion der Leistung des Reaktors

der Brennstofftemperatur). Die durchschnittliche Temperatur des Corewassers im Vergleich zur Temperatur der Brennstäbe ändert sich nur wenig, weil das eintretende Kühlwasser konstante Temperatur hat und leicht durch das Core durchfließen kann. Weil Uran und Wasserstoff innig vermischt sind, gibt es keine Verzögerung zwischen dem Spaltprozeß und der lokalen Erwärmung des Wasserstoffs im Element. Der beobachtete, große, negative Temperaturkoeffizient, der im wesentlichen dem gebundenen Wasserstoff im Zirkonhydrid zugeschrieben werden kann, ist ein prompter Effekt.

#### 3,5) Quasistationäre Experimente

Weil die wichtigeren Reaktivitätseffekte in diesem Reaktor prompt sind, wurden sie durch eine Reihe von quasistationären Experimenten ausgewertet. Die Ergebnisse aus diesen Experimenten wurden dann benützt,

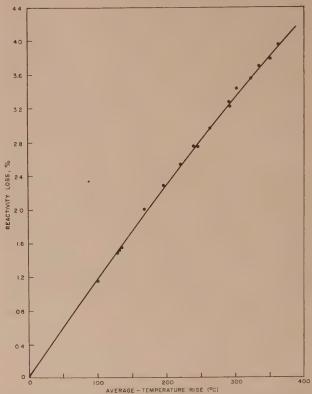


Abb. 3. Der Reaktivitätsverlust als Funktion des mittleren Temperaturanstieges bei konstantgehaltener Temperatur des Kühlwassers im Core

um das Kurzzeitverhalten des Reaktors vorherzusagen. Dabei wurden gleichzeitig Messungen der Brennstofftemperatur im Reaktor und der Reaktivität als Funktion der Leistung des Reaktors gemacht. Diese Messungen geben eine Relation zwischen dem Reaktivitätsverlust und dem Brennstofftemperaturanstieg über die mittlere Wassertemperatur im Core. Die Steigung der Kurve ist der Temperaturkoeffizient des Reaktors.

Um eine gute experimentelle Bestimmung der mittleren Brennstofftemperatur zu erreichen, wurden acht von den Brennstoffelementen im Reaktorcore mit je vier Thermoelementen ausgestattet. Diese Thermoelemente messen die Temperatur in der Mitte, am unteren und oberen Ende und an der Oberfläche des Brennstabes. Die Temperatur des aus- und einströmenden Wassers wurde ebenso gemessen.

Der Reaktor wurde mit einer Überschußreaktivität von ungefähr 4% geladen. Die Betriebsleistung wurde dann in kleinen Schritten erhöht. Für jeden Wert der

Leistung wurden die Brennstoff- und Wassertemperatur und die Höhe des Kontrollstabes gemessen. Diese Messungen sind in Abb. 1 und 2 festgehalten. Abb. 3 zeigt den Reaktivitätsverlust als Funktion des durchschnittlichen Temperaturanstieges im Brennstoff mit einer kleinen Korrektur für Änderungen in der durchschnittlichen Corewassertemperatur. Die Steigung der Kurve gibt den Brennstofftemperaturkoeffizienten mit  $-1.2 \cdot 10^{-4}$ °C bei Raumtemperatur an, der bis  $400\,^{\circ}$ C nur unmerklich abnimmt,

Die gemessenen Werte des Reaktortemperaturkoeffizienten wurden dann für kinetische Berechnungen benützt, um das Verhalten des Reaktors bei schrittweiser Erhöhung der Reaktivität vorherzusagen. Diese Berechnungen sind in sehr guter Übereinstimmung mit den Experimenten.

Abschließend kann man sagen, daß das Temperaturverhalten des TRIGA, das seine hohe Sicherheit ausmacht, in erster Linie auf die Gegenwart des homogenen Brennstoff-Moderatormaterials in Form des festen ZrH zurückzuführen ist. Das Wesen der Verlang-

samungseigenschaften des Wasserstoffs in diesem Material und des Kühlwassers zwischen den Brennstoffstäben ist qualitativ vollkommen erfaßt.

#### Schrifttum

- [1] S. L. KOUTZ, T. TAYLOR, A. MCREYNOLDS, F. DYSON, R. S. STONE, H. P. SLEEPER, Jr., und R. B. DUFFIELD: Design of a 10-kw-Reactor for Isotope Production, Research, and Training Purposes. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 10 (1958), S. 282...286.
- [2] B. Carlson, C. Lee, and J. Worlton: The DSN and TDC Neutron Transport Codes, Los Alamos Scientific Laboratory, Report LAMS-2 346, 1959.
- [3] F. T. ADLER, G. W. HINMAN, and L. W. NORDHEIM: The Quantitative Evaluation of Resonance Integrals. Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 16 (1958), S. 155...171.
- [4] R. S. STONE, et al.: Transient Behavior of TRIGA, a Zirconium-Hydride, Water-moderated Reactor. Nucl. Sci. and Eng. Vol. 6 (1959), S. 255...259.

#### Die Metallurgie der TRIGA-Brennstoffelemente

Von M. T. SIMNAD und W. P. WALLACE, San Diego, USA.

DK 621.039.546/.548

#### 1) Beschreibung der Brennstoffelemente

Das Core des TRIGA enthält ungefähr 60 Brennstoffelemente, jedes davon besteht aus einer festen homogenen Mischung von 8% (Gewicht) Uran, 91% Zirkon und 1% Wasserstoff, was einem Verhältnis der Atomzahlen von U: Zr: H von 0,03:1:1 entspricht. Das Uran ist mit 20% U 235 angereichert, der Wasserstoff ist im Zirkonhydrid (ZrH) gebunden. So sind Brennstoff

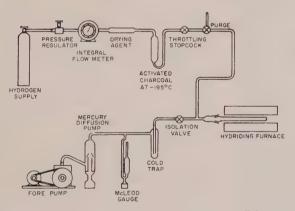


Abb. 1. Anlage zur Hydrierung der Brennstoffelemente

(Uran) und Moderator (Wasserstoff) im Brennstab vermischt und ergeben ein wirksameres System, als wenn beide räumlich getrennt wären.

Der aktive Teil jedes Brennstoffelements hat einen Durchmesser von 3,6 cm und ist 35,5 cm lang. An beiden Enden des Stabes sind Scheibchen aus Neutronen absorbierendem Stoff, der im Betrieb des Reaktors allmählich verbraucht wird. Dazu kommen am oberen und unteren Ende 10 cm lange Graphitstäbe. Der Brennstab ist mit Aluminiumblech (Type 1 100) der Stärke von etwa 0,076 cm umhüllt. Die Gesamtlänge des Brennstabes ist etwa 68,5 cm. Das "Gift" wird ungefähr mit

derselben Geschwindigkeit verbraucht, wie anderes Gift im Reaktor während des Betriebes entsteht. Die Brennstoffelemente werden so eine Reaktivitätslebenszeit von

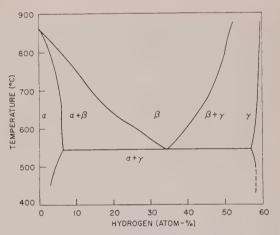
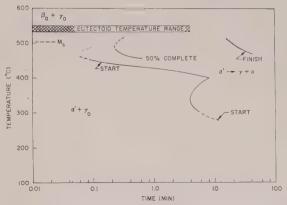


Abb. 2. Das Zirkonwasserstoffphasendiagramm



Abb, 3. Isothermes Umwandlungsdiagramm für die Uranzirkonwasserstofflegierung mit dem Atomverhältnis 0.03:1:1

ungefähr 10 Jahren haben, wenn der Reaktor stetig mit 10 kW läuft. Abb. 4 im Aufsatz "Beschreibung des österreichischen Hochschulreaktors" zeigt die verschiedenen Komponenten eines Brennstoffelements.

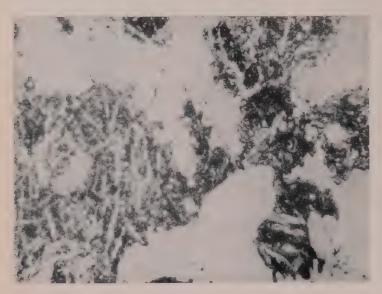


Abb. 4. Mikrostruktur einer Probe, die eine Stunde bei 600°C geglüht, auf 350°C abgekühlt und auf dieser Temperatur 1 000 min gehalten, und dann auf Zimmertemperatur abgekühlt wurde. Man sieht die Einbettung von  $\alpha'$ -Nadeln in das Blättchen von  $\alpha$ -Zirkon, das von Hydrid umgeben ist (Vergrößerung 500fach)



Abb. 5. Mikrostruktur einer Probe, die 1 h bei 600 °C geglüht und dann auf 500°C abgekühlt wurde

a) Nach 1 min auf Zimmertemperatur abgeschreckt (α-Zirkon-Blättchen aus der Zersetzung von α'). Reaktionsumsatz 30 %
 b) Nach 10 min auf Zimmertemperatur abgeschreckt, Reaktionsumsatz 90 %
 c) Nach 100 min auf Zimmertemperatur abgeschreckt, Reaktionsumsatz 100 %
 dalle Vergrößerungen 500fach)

#### 2) Sicherheitseigenschaften

Der Reaktor besitzt eine inhärente Sicherheit, d. h. wenn die Brennstoffelemente sich wegen einer Überschußreaktivität im Reaktor erhitzen, führt die Temperaturerhöhung unmittelbar zu einer Abnahme der Reaktivität. Weil die Erwärmung des Moderators nicht verzögert ist, erreichen die thermischen Neutronen sofort die Temperatur der Brennstäbe. Eine Zunahme der

> Brennstofftemperatur führt sofort eine Abnahme der Reaktivität herbei, weil der Spaltquerschnitt in U 235 bei zunehmender Neutronenenergie abnimmt. Die Gegenwart einer beträchtlichen Menge von U 238 verstärkt den prompten negativen Temperaturkoeffizienten, weil die parasitische Absorption der Neutronen in U 238 durch die Dopplerverbreiterung der Resonanzstellen von U 238 vergrößert wird.

#### 3) Erzeugung der Brennstäbe

Zirkonschwamm wird mechanisch Uranstücken vermischt und in quadratische Stäbe von etwa 2,5 cm Dicke und 30 cm Länge gepreßt. Durch einen Druck von etwa 5 t/cm<sup>2</sup> wird der Stab zusammengepreßt. Die entstehende Masse hat ungefähr 90% der theoretischen Dichte.

Mehrere dieser Stücke werden in einer Argonatmosphäre zu einer langen Elektrode zusammengeschweißt. Die Elektrode wird im Lichtbogen zu einem Barren zusammengeschmolzen. Die Schmelzform besteht aus Kupfer und wird mit Wasser gekühlt. Nach Entfernen der Schmelzform wird die Oberfläche

gereinigt. Nach Zusammenschmelzen zweier Barren wird das ganze Verfahren wiederholt. Nach diesem doppelten Schmelzprozeß ist das Uran ziemlich gleichmäßig über den Barren verteilt.

Der Barren, der nur einen Durchmesser von etwa 10 cm hat, wird gereinigt, dann in eine evakuierte Kupferröhre eingeschlossen, auf 760°C erhitzt und in einen langen Stab mit etwa 4 cm Durchmesser ausgezogen. Das Kupfer wird in Salpetersäure gelöst, und der gereinigte Stab weiter verarbeitet. Der lange Stab wird zur gewünschten Form zurechtgeschnitten und unter sorgfältiger Kontrolle hydriert.

Die hydrierten Stäbe werden zusammen mit den Graphitreflektorstäben und den "Giftscheibchen" in eine Aluminiumröhre gesteckt, die an den Enden verschlossen wird. Die Schweißstellen werden mit Hilfe eines Heliummassenspektographen und eines kalten Autoklaventests auf Dichtigkeit geprüft.

#### 4) Das Hydrierverfahren

Das Hydrierverfahren wird schematisch in Abb, 1 gezeigt. Der Stab wird in eine Keramikröhre eingebracht und im Vakuum bis zur erforderlichen Temperatur erhitzt. Gereinigter Wasserstoff wird bis die gewünschte Wasserstoffkonzeneingelassen, tration im Zirkon erreicht ist. Dann wird die Wasserstoffzufuhr abgesperrt, und der Stab langsam abgekühlt, bis der restliche Wasserstoff

der Röhre zu vernachlässigen ist. Die Zeit, die man dazu braucht, hängt von der Größe, der Form und vom gewünschten Wasserstoffgehalt ab. Man braucht einige Stunden, um die Brennstäbe von

3,6 cm Durchmesser zu hydrieren, so daß sie aus 91% Zr, 8% U und 1% H bestehen. Eine wichtige Voraussetzung ist die Temperaturkonstanz während des Verfahrens.

Der Übergang in die hydrierte Phase muß sorgfältig kontrolliert werden, weil sogar bei konstanter Temperatur ein Zuviel an Wasserstoff die Oberfläche rissig macht. Das hat seine Ursache darin, daß sich die Zirkonschicht schneller in die spröde Gammaphase verwandelt, bevor noch die unteren Schichten Wasserstoff absorbieren können. Wenn mit der Zeit mehr Wasserstoff absorbiert wird, wird die Ausdehnung der unteren Schichten die Oberfläche rissig machen. Wenn das Rohmaterial grobkörnig ist, sind solche Sprünge fast nicht zu vermeiden. Wenn man Wasserstoff langsam beigibt, so daß das Material nur die Betaphase erreicht. bevor die Gammaphase eintritt, können Brennstoffelemente mit einer Zusammensetzung ZrH<sub>1.7</sub> ohne Risse erzeugt werden

#### 5) Feinstruktur der Uran-Zirkon-Wasserstofflegierungen

Zirkon kommt in zwei Kristallformen vor: Alpha (stabil unter 860 °C) und Beta (stabil über 860 °C). Die Alphaphase ist eine hexagonal dichte Packung und absorbiert nicht viel Wasserstoff. Die geringe Menge Wasserstoff, die aufgenommen wird, bildet eine feste Lösung mit dieser Phase.

Das Gleichgewichtsdiagramm in Abb. 2 zeigt einen eutektischen Punkt bei 537 °C. Der Großteil des Urans bleibt in fester Lösung im Zirkon-Wasserstoffsystem. Seine eutektische Umwandlungstemperatur liegt zwischen 537 ° und 550 °C.

Eine Untersuchung der Feinstruktur von bestrahlten und unbestrahlten TRIGA-Brennstoffelementen zeigt, daß auch freies Uran, aber höchstens in Teilchen von weniger als  $10\,\mu$  Durchmesser, vorhanden ist.

Im Gleichgewicht über 800 °C ist die Uran-Zirkon-Wasserstofflegierung eine feste Lösung im kubisch raumzentrierten Gitter des Zirkon-Wasserstoffsystems. Zwischen 800 °C und 550 °C besteht die

Legierung aus einer mechanischen Mischung von Betaund Gammahydrid, einer flächenzentrierten, kubischen bis tetragonalen Modifikation der Zusammensetzung  $ZrH_{1.5}$ . Zwischen 550 °C und 537 °C zerfällt der Betaanteil (es sind ungefähr 2 Gamma- und 1 Betaanteil) in eine mechanische Mischung von Alphazirkon (eine hexagonal dichtgepackte Zirkonphase mit weniger als 1% U in fester Lösung) und Gammahydrid im Verhältnis 2:3.

Die Diagramme für die isotherme Umwandlung bei der eutektischen Reaktion im Uran-Zirkon-Wasserstoff-



Abb. 5b

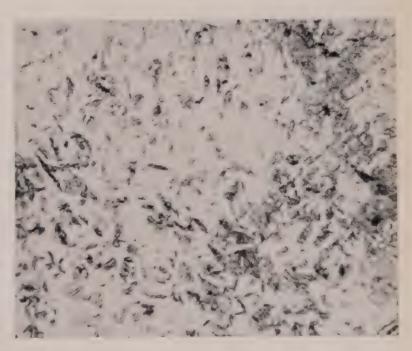


Abb. 5c

system zeigt Abb. 3. Die Werte für den Beginn der Umwandlungen werden durch Auftragen der Ergebnisse dilatometrischer Messungen über der Zeit erhalten, da man annehmen kann, daß die beobachtete Volumsänderung dem Umwandlungsgrad direkt proportional ist. Bei Temperaturen über 450 °C beginnt die Um-

wandlung in einer zu kurzen Zeit, als daß noch dilatometrische Messungen durchgeführt werden könnten (Zeitbedarf etwa 10 s), weshalb die exakte Bestimmung

Abb. 6. Bainitähnliche Struktur durch Tempern einer Probe bei 600 °C, Abkühlen auf 400 °C, nach 10 min Abschrecken auf Zimmertemperatur (Vergrößerung 1 000fach)



Abb. 7. Mikrostruktur einer Probe, die 1 h bei 700°C geglüht und auf Zimmertemperatur abgeschreckt wurde (Blättchen von Gammahydrid wurden während des Abschreckens aus der Betaform ausgeschieden)

des Zeitpunktes für den Beginn der Umwandlung nicht möglich ist.

Bei Unterschreiten der eutektischen Temperatur und oberhalb  $450\,^{\circ}\mathrm{C}$  verwandelt sich die Betaphase der festen Lösung, die mit dieser Legierung bei etwa

600 °C im Gleichgewicht stünde, rasch in die metastabile Struktur  $\alpha'$  um. Die Temperatur für den Beginn der Martensit-Umwandlung ist gewöhnlich hoch (über

450 °C), sie kann jedoch nicht genau bestimmt werden, da die von der Diffusionsgeschwindigkeit bestimmte Reaktion im betrachteten Temperaturbereich sehr rasch vor sich geht. Nach metallographischen Untersuchungen dürfte der Beginn der Umwandlung bei 500 °C liegen.

Die Zersetzung der  $\alpha'$ -Phase findet bei Temperaturen über 450 °C rasch statt, der Start erfolgt nach weniger als 10 s, und die Reaktion ist nach ungefähr 30 min beendet. Unter 450 °C ist die Zersetzungsgeschwindigkeit viel geringer, und das Umwandlungsprodukt ähnelt einer Bainit ähnlichen Alpha- plus Gammaphase.

Die Rückumwandlung, nämlich die Bildung der Betaphase aus Alpha-Zirkon und Zirkonhydrid verläuft bei 600°C sehr rasch, sie beginnt bereits nach weniger als 10 s, und nach 100 s sind bereits 50% umgesetzt.

Die Abb. 4, 5, 6 und 7 zeigen die Veränderungen der Mikrostrukturen als Ergebnis mehrerer isothermer Übergänge.

# 6) Physikalische, chemische und mechanische Experimente

Eine der augenfälligsten Erscheinungen bei der Hydridbildung des Zirkons ist die beträchtliche Volumsvergrößerung. Abb. 8 zeigt die Gitterausweitung als Funktion des Zirkon-Wasserstoffverhältnisses. Über die Zusammensetzung ZrH<sub>1,5</sub> hinaus findet keine Änderung der Dichte mehr statt. In Abb. 9 ist die Wärmeleitfähigkeit von Zirkon, Zr-U(8 Gewichtsprozent) und Zr-U(8 Gewichtsprozent)-H<sub>1,0</sub> und Zirkon-Uran (8 Gewichtsprozent) in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Die Kurve für die Wärmeleitfähigkeit der ZrH<sub>1,0</sub> ist wahrscheinlich ähnlich jener des binären Systems und verläuft nur etwas steiler. Die Leitfähigkeit der Uran-Zirkonlegierung wurde mit 0,14 W/ cm °C bestimmt. Dieser Wert ist weniger als ein Zehntel der Leitfähigkeit des Aluminiums, liegt also ziemlich tief.

Der lineare Ausdehnungskoeffizient für das Gammahydrid wurde mit etwa  $7\cdot 10^{-6}$ /° C gemessen.

Die spezifische Wärme von Zirkon bei Zimmertemperatur beträgt etwa 0,069 cal/g° C bzw. 6,30 cal/Mol° C. Als spezifische Wärme von Zirkonhydrid wurden 0,081 5 cal/g° C bzw. 7,5 cal/Mol° C

ermittelt. Der Beitrag des Wasserstoffatoms beläuft sich demnach bei Zimmertemperatur auf etwa 1,2 cal/° C. Diese Eigenschaften spielen für das thermische Verhalten und bei Wärmeübergängen im Uran-Zirkon-Wasserstoff-Brennstoff-Moderatorelement eine bedeutende Rolle.

Unter den chemischen Eigenschaften dieser Legierungen ist besonders die Geschwindigkeit der Reaktion mit Wasser von Interesse. Da die Hydridbildung exotherm verläuft, ist zu erwarten, daß Wasser leichter mit

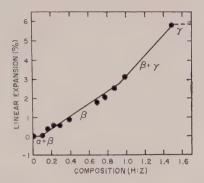


Abb. 8. Verlängerung eines Stabes durch Hydrieren bei  $800\,^{\circ}\mathrm{C}$ 

Zirkon selbst als mit Zirkonhydridsystemen reagiert. Tatsächlich werden bei der Oxydation von  $ZrH_{1,0}$  durch Wasser 124 cal/Mol frei. Trotzdem wird die Reaktion von Zirkon mit Wasser nicht als Gefahrenmoment be-

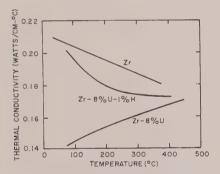


Abb. 9. Wärmeleitfähigkeiten von Zirkonenlegierungen

trachtet, und Zirkon wird häufig in Reaktoren in direkter Berührung mit Wasser verwendet. Experimente bei General Atomic zeigen, daß Zirkonhydridsysteme gegenüber Luft und Wasser eine relativ geringe Reaktionsbereitschaft zeigen.

#### 7) Elastische Eigenschaften

Eine weitere bemerkenswerte Tatsache ist, daß die Legierung mit steigendem Wasserstoffgehalt brüchiger wird. Der Elastizitätsmodul nimmt nur wenig ab, aber die Zugfestigkeit vermindert sich von 7 000 auf 2 400 kp/cm². Außerdem tritt beim Hydrid das plastische Verhalten, das beim Zirkon dem Bruch vorausgeht, nicht auf. Abb. 10 zeigt die mechanischen Eigenschaften für Zr-U(8 Gewichtsprozent)-H<sub>1,0</sub> und Zr-U(8 Gewichtsprozent). Bei höherem Wasserstoffgehalt nimmt die Brüchigkeit weiter zu.

Die Deformierbarkeit bei Dauerbeanspruchung von 280, 350, 420, 490 und 560 kp/cm² wurde in der angegebenen Reihenfolge gemessen (Abb. 11: rund gezeichnete Meßpunkte); die Versuche wurden bei 280, 350 und 420 kp/cm² wiederholt (eckig gezeichnete Meß-

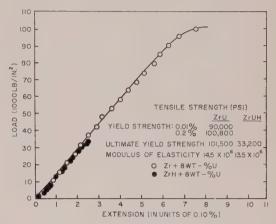


Abb. 10. Spannungs-Dehnungs-Diagramm für Zirkon und Zirkonhydrid mit je 8 Gewichtsprozent Uran. Die Belastung ist als Funktion der Ausdehnung (in Einheiten von 0,10 %)

punkte). Ein sprunghafter Anstieg in der Verformbarkeit wird im Bereich der Umwandlungstemperatur (532 °C) beobachtet.

Es ist bemerkenswert, daß diese Legierungen, obwohl sie bei Zimmertemperaturen ziemlich brüchig sind, bei einer Temperatur von 500°C aufwärts duktil werden. So wurde zum Beispiel ein Probestück bei 568°C bis zum beginnenden Bruch bei einer Belastung von 420 kp/cm² getestet und dabei eine Dehnung von 70% festgestellt.

#### 8) Wasserstoffwanderung

Die Diffusion des Wasserstoffs im Temperaturgefälle ist bekannt und wurde an den wasserstoffärmeren Hydriden über etwa 250 °C beobachtet. Bei 700stündigen Versuchen mit Hydriden eines höheren Wasserstoffgehaltes als in ZrH<sub>1,5</sub> wurde bei einem Temperaturgefälle von 100 °C/cm und 650 °C Spitzentemperatur keine bedeutsame Wasserstoffwanderung beobachtet.

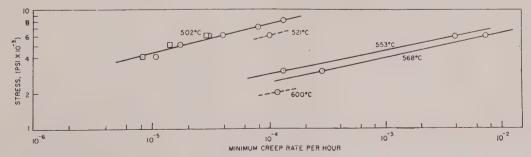


Abb. 11. Minimale Kriechdehnungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Spannung bei verschiedenen Temperaturen für eine Uran-Zirkonwasserstofflegierung (Atomverhältnis 0,03:1:1)

# Forschungsmöglichkeiten mit pulsierender Kernstrahlung aus dem TRIGA-Reaktor

Von A. W. McReynolds, San Diego, USA

DK 621.039.55

#### 1) Einführung

Jede der beiden hauptsächlich verwendeten Strahlungsquellen — Kernreaktoren und Beschleuniger — hat ihre besonderen Merkmale und Vorteile. Der Vorteil der Reaktoren besteht im hohen Fluß. Neuerdings wurde auch die pulsierende Strahlung, ein Merkmal der Beschleuniger, in Reaktoren möglich. Man erhält für Bruchteile einer Sekunde einen Fluß, der um ein bis zwei Größenordnungen höher ist.

Der Impulsbetrieb des TRIGA-Reaktors und die Anwendung der pulsierenden Strahlung wurden durch die einzigartige Sicherheit dieses Reaktortyps ermöglicht.

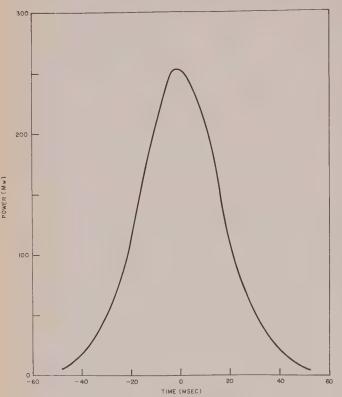


Abb. 1. Gemessene Leistungskurve während eines Impulses bei  $1.6\,\%$   $\delta$  k/k

Eine lange Reihe von Versuchen wurde in den vergangenen drei Jahren am Prototyp des TRIGA-Reaktors im John Jay Hopkins Laboratory for Pure and Applied Science in San Diego, California, durchgeführt, um seine Sicherheit zu begründen und auszuwerten.

Die Versuche bestanden in einer sprungartigen Erhöhung der Überschußreaktivität. Sie bestätigen die erwartete Reaktion auf den Reaktivitätsstoß und zeigten damit auch die inhärente Sicherheit der Uran-Zirkonhydrid-Brennstoff-Moderatorelemente. Diese festen homogenen Elemente wurden bei General Dynamics, General Atomic Division, entwickelt und geben dem TRIGA-Core einen prompten negativen Temperaturkoeffizienten, der mit Freiwerden der Überschußreaktivität die Leistung des Reaktors nach oben sicher begrenzt und sie außerdem innerhalb weniger Millise-

kunden auf die normale Betriebsleistung herabdrückt. Der Effekt der freiwerdenden Überschußreaktivität ist ein kurzer und intensiver Strahlungsimpuls, nach dem der Reaktor ohne Betätigung irgendwelcher Kontrolleinrichtungen wieder auf sein normales Leistungsniveau von einigen hundert Kilowatt zurückkehrt.

Während einiger Millisekunden hat der Prototyp des TRIGA-Reaktors im General Atomic's John Jay Hopkins Laboratory den stärksten Strahlungsimpuls erzeugt, der jemals in einer kontrollierten Strahlungsquelle erreicht wurde. Im folgenden werden einige Forschungsgebiete erörtert, die sich bei Benützung des impulsbetriebenen TRIGA-Reaktors als Strahlungsquelle neu erschließen.

#### 2) Der Impulsbetrieb

Die gewöhnliche Methode, einen Reaktor in Betrieb zu setzen, besteht im sorgfältig überwachten Herausziehen der Regelstäbe, bis sich die Reaktion mit prompten und verzögerten Neutronen selbst erhält. Die verzögerten Neutronen machen ungefähr 0,8% aller Neutronen aus. Im schmalen Bereich einer Überschußreaktivität von 0 bis 0,8% hängt die Reaktorperiode von der Emissionszeit der verzögerten Neutronen ab und ist von der Größenordnung von einigen Sekunden. Wenn diese 0,8% überschritten werden, ist der Reaktor von den verzögerten Neutronen unabhängig und prompt kritisch, seine Periode bestimmt sich aus der Lebensdauer der Neutronen und der Überschußreaktivität und ist von der Größenordnung von Millisekunden für einen thermischen Reaktor. Im normalen Reaktorbetrieb muß das prompte Kritischwerden vermieden werden, für den Impulsbetrieb hingegen ist es notwendig. Für den letzten müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- 1. Die Überschußreaktivität muß sehr schnell zur Wirkung kommen.
- 2. Das Core muß sich vor einem unerwünscht hohen Temperaturanstieg schnell und sicher selbst schützen.
- 3. Das Core muß die durch den Impuls entstehende große Wärmemenge ohne Schaden absorbieren können.

Diese Betriebsvoraussetzungen werden durch die feste, homogene Struktur des Cores gewährleistet. Die Reaktivität wird durch Zurückziehen eines besonderen "schnellen" Regelstabes erhöht. Das Leistungsniveau steigt mit einer Periode von 10 ms an. Die erzeugte Energie wird sofort durch die Spaltprodukte auf die homogene Mischung des Brennstoff-Moderatormaterials übertragen, so daß man die Zeit zwischen Leistungsanstieg und Temperaturerhöhung im Moderator vernachlässigen kann. Ein Teil dieser Energie vermehrt die Schwingungszustände der Wasserstoffatome im ZrH-Gitter, mit denen die thermischen Neutronen in einem Quasigleichgewicht sind. Das thermische Neutronenspektrum des Reaktors wird so gegen höhere Energien verschoben, bei denen der Wirkungsquerschnitt des Urans abnimmt, wodurch die Überschußreaktivität re-

Eine eingehendere Diskussion des prompten negativen Temperaturkoeffizienten ist in der Arbeit "Neutro-

Tabelle I. Daten über den Impulsbetrieb des TRIGA-Re-

Maximale	Reakti	ivitä	it			٠				٠	$1,6^{0}/_{0}$
Minimale	Period	.e									$10 \mathrm{\ ms}$
Spitzenlei	stung										250 MW
Energieab	gabe,	pror	np	ter	Ir	np	uls				10 MWs
Dauer des	prom	pten	Ū	[mp	uls	es	٠				40 ms
Gesamte :	Energie	abg	gal	эе							16 MWs
Zahl der S											
Impulse	S						٠	٠,			3 · 1017
Maximale											
ratorele											360 °C

Position im Reaktor	nv (Spitze) (n/cm²s)	$nvt$ (prompt) $(n/cm^2)$	$nvt$ (gesamt) $(n/cm^2)$
Gen	nessener therr	nischer Fluß	
Coremitte	8 · 1015	3 · 1014	5 · 10 <sup>14</sup>
(Reflektormitte) Reflektor	1,5 · 1015	0,6 · 1014	1 · 1014
(äußerer Rand)	$0.5 \cdot 10^{15}$	0,2 · 1014	0,3 · 1014
Berechne	eter schneller	Fluß (> 67 ke	eV)

Berechneter	schneller	Fluß	(>6)'	7 keV)	)
-------------	-----------	------	-------	--------	---

Coremitte	1,1 · 1016	$4,5 \cdot 10^{14}$	7 · 1014
Isotopendrehkranz (Reflektormitte)	5 · 10 <sup>14</sup>	2 · 1013.	3 · 1013
Reflektor (äußerer Rand)	$2,5 \cdot 10^{13}$	1 · 1012	1,6 · 1012

nenverlangsamung im ZrH und der prompte negative Temperaturkoeffizient des TRIGA" zu finden. Hier genügt es festzustellen, daß der negative Temperaturkoeffizient bei einem Temperaturanstieg des Brennstoff-Moderatormaterials die Reaktivität so herabsetzt, daß der Überschuß kompensiert wird. In diesem Moment wird die Zahl der Neutronen geringer, sie erzeugen aber weiter Energie und machen den Reaktor subkritisch. Abb. 1 zeigt die experimentell aufgenommene Kurve der Leistung nach der Zeit für eine Reaktivitätserhöhung von 1,6%. Wie theoretisch zu erwarten, ist die Kurve symmetrisch, die Abnahme der Leistung geht mit derselben Periode vor sich wie der Leistungsanstieg.

Abb. 2 zeigt eine ähnliche Kurve über einen längeren Zeitraum aufgetragen; zur Zeit Null wurden die Regelstäbe herausgezogen. Bevor man dem Reaktor einen Impuls abverlangt, hält man ihn für gewöhnlich auf einem Leistungsniveau von 1 W kritisch. Der Reaktor braucht etwas mehr als 0,1 s, um die Leistung um einen Faktor von 105 auf 0,1 MW zu erhöhen. Um den Reaktor zu einem Impuls zu veranlassen, muß die Überschußreaktivität nicht momentan, sondern innerhalb von 0,1 s eingesetzt werden. Das wird durch einen pneumatisch herausgetriebenen Regelstab erreicht. Abb. 2 zeigt weiter, daß nach der kurzzeitigen Leistungsspitze durch die prompten Neutronen ein Fluß von ungefähr 10/0 der Leistungsspitze bleibt, der, durch die verzögerten Neutronen des vorhergegangenen Impulses bedingt, mit einer größeren Periode abklingt. Der Reaktor nähert sich dann einem niedrigeren Leistungsniveau oder stirbt ab, wenn der Regelstab wieder in das Core eingeführt wird.

Wesentlich für den ganzen Impulszyklus ist, daß keine andere Bewegung außer von Kernteilchen oder schwingenden Atomen daran Anteil hat; insbesondere hängt er in keiner Weise von der Regeleinrichtung ab.

Tabelle I gibt eine Zusammenstellung der Daten des impulsbetriebenen Reaktors bei 1,6% Überschußreaktivität. Der Prototyp TRIGA der General Atomic

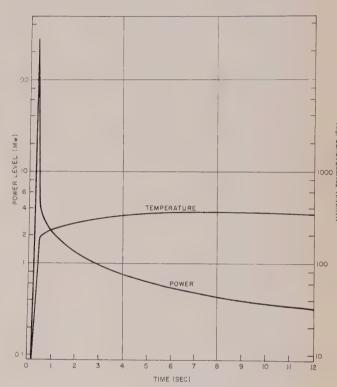


Abb. 2. Experimentell bestimmte Leistung und Brennstofftemperatur als Funktion der Zeit nach Freiwerden einer Überschußreaktivität von 1,6%

im John Jay Hopkins Laboratory for Pure and Applied Science wurde über 1 000mal zu der angegebenen Leistung angestoßen; mehrere Versuche wurden bis zu Leistungsspitzen der sechsfachen Größe ohne Beschädigung der Brennstäbe durchgeführt.

## 3) Anwendung in der Forschung 3,1) Kurzlebige Isotope

Das Interesse an der Aktivierung kurzlebiger Isotope geht in zwei Richtungen:

- (1) Untersuchung der Kernstruktur durch den Zerfallsprozeß kurzlebiger Isotope. Der Impulsbetrieb kann höhere spezifische Aktivitäten in Isotopen von wenigen Sekunden Halbwertszeit und darunter erzeugen; es ist zu erwarten, daß neue unentdeckte Energieniveaus gefunden werden und bereits bekannte mit einer größeren Genauigkeit bestimmt werden können.
- (2) die Aktivierung von Isotopen mit Halbwertszeiten in der Größenordnung von Minuten bis zu Bruchteilen von Sekunden für Anwendungen in Physik, Chemie, Medizin und Landwirtschaft.

In beiden Fällen ist die maximale spezifische Aktivität von Bedeutung. Abb. 3 zeigt das Verhältnis der spezifischen Aktivität, die durch Impulsbetrieb des TRIGA erhalten werden kann, zu der, die aus einem Reaktor mit hohem konstanten Fluß, dem U.S. Atomic Energy Commission Materials Testing Reaktor (MTR) mit einem Fluß von 2 · 10<sup>14</sup> thermischen Neutronen/cm<sup>2</sup>s,

erhalten wird, als Funktion der Halbwertszeit. Für sehr kurze Perioden gibt der gestoßene Betrieb bis zu 50mal so große spezifische Aktivitäten wie der MTR; sogar für viel längere Perioden, wo die Wirkung des TRIGA

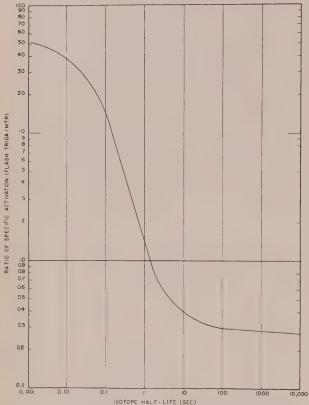


Abb. 3. Das Verhältnis der Aktivierung des Impuls-TRIGA zum MTR als Funktion der Halbwertszeit. Thermischer Neutronenfluß des MTR wird mit 2·10<sup>14</sup> Neutronen/cm<sup>2</sup>s angenommen

eher auf seinem kurzen, hohen Leistungsniveau als auf einem wirklichen Impuls beruht, ist das Ergebnis innerhalb eines Faktors 3 mit dem des MTR vergleichbar.

#### 4) Chemische Aktivierungsanalyse

Der TRIGA wurde wie andere Reaktoren schon ausgiebig zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Substanzen durch Aktivierung der Proben und Benützung der Szintillationsspektrometrie verwendet. Die impulsartige Aktivierung wirkt sich vorteilhaft auf kurzlebige Stoffe aus und schaltet so Störungen durch langlebige weitgehend aus. Wichtiger ist vielleicht die Feststellung der exakten Aktivierungszeit, was die Bestimmung der Zusammensetzung zu einem bestimmten Zeitpunkt in schnell sich ändernden chemischen, physikalischen und biologischen Reaktionen gestattet.

Tabelle II. Elemente, die durch impulsartige Aktivierung kurzlebiger Isotope analysiert werden können

Elemente	Halbwertszeit	Elemente	Halbwertszeit
Li <sup>8</sup> B <sup>12</sup> C <sup>15</sup> N <sup>16</sup> O <sup>19</sup>	0,84 s 0,025 s 2,3 s 7,4 s 2,9 s	$F^{20}$ $Ne^{23}$ $Mg^{27}$ $Al^{28}$	11 s 40 s 9,5 min 2,3 min

Tabelle III. Nachweisempfindlichkeit einiger Elemente mittels Aktivierungsanalyse im stationären Betrieb mit 100 kW

E und M

Element	Empfindlichkeit (µg)	Halbwerts- zeit	
Ag	0,001	27 h	
CĬ	0,02	37 min	
Cu	0,003 5	5,1 min	
Mn	0,000 3	2,6 h	
Na	0,003 5	15 h	
Sb	0,002	3,5 min	
Sr	0,3	2,8 h	
U	0,005	23 min	
V	0,005	3,8 min	

Kurzlebige Aktivitäten, für die die gepulste Aktievierung wirksamer ist als die durch einen stetigen Fluß, kommen besonders unter den leichten Elementen bis Aluminum vor. Fast alle diese Elemente führen durch Aktivierung zu  $(n, \gamma)$ - oder (n, p)-Reaktionen, sind aber mit dieser Technik noch wenig studiert worden. Tabelle II gibt eine Zahl leichter Elemente und ihrer kurzen Halbwertszeiten an.

Für langlebigere Aktivitäten ist ein stetiges Leistungsniveau günstiger. Fast alle diese Elemente können auf die beschriebene Weise analysiert werden. Tabelle III gibt einige Beispiele und Empfindlichkeiten in Mikrogramm an, die man mit dem TRIGA bei 100 kW Leistungsniveau erhält.

#### 5) Erzeugung hoher Temperaturen

Materialien mit großen Neutronenabsorptionsquerschnitten und Materialien, die schwere Teilchen emittieren, können durch einen kurzen, intensiven Neutronenimpuls auf hohe Temperaturen gebracht werden. Die Temperatur hängt vom Energiebetrag ab, der während des Impulses an die Umgebung abgegeben wird. Unter der Annahme vollständig adiabatischer Bedingungen sind die errechneten Temperaturen für vier Reaktionen bei einem 10-MWs-Impuls in Tabelle IV angegeben. Anwendungen solch hoher Temperaturen ergeben sich auf die Physik der Festkörper und Flüssigkeiten und auf die Plasmaphysik.

#### 6) Neutronenphysik

Die Impulse sind zwar nicht kurz genug, daß man sie als Ersatz für einen mechanischen Chopper oder ein Kristallbeugungsspektrometer ansehen könnte, aber in gewissen Fällen lassen sich diese Geräte mit einem impulsbetriebenen Reaktor verbinden. In anderen Experimenten wächst die gemessene Größe stärker als linear mit dem Neutronenfluß. Besonders interessant sind Neutron-Neutronenstöße, die dem Quadrat des Flusses pro-

Tabelle IV. Berechnete Temperaturen, die durch TRIGA-Impulse erzeugt werden

Reaktion	Energie (eV/Atom/Impuls)	Temperatur <sup>1</sup> ) (°K)
n (He³, p) H³	1,6	9 500
n (Li <sup>6</sup> , $H^3$ ) $\alpha$	1,8	10 500
n (B <sup>10</sup> , Li <sup>7</sup> ) He <sup>4</sup>	4,5	26 000
n (U <sup>285</sup> , Spaltung)	39	230 000

 $<sup>^1)</sup>$  Unter Annahme eines vollständig adiabatischen Prozesses und Vorhandensein von  $100\,^0/_0$  des absorbierenden Isotopes,

portional sind. Der Fluß im Zentrum des Reaktorcores bei 1,6% akk und 250 MW ist ungefähr 10<sup>16</sup> Neutronen/cm²s. Wenn der n-n-Absorptionsquerschnitt (für den es keine experimentellen Daten gibt) als identisch mit dem n-p-Querschnitt von 20 barns angenommen wird, dann entsprechen diesem Fluß 10<sup>1</sup>n-n-Zusammenstöße/cm³s, oder 200 im cm³ pro Impuls.

Die Instrumente, die man für die Messung dieser Ereignisse braucht, könnten gerade noch die n-n-Stoßphänomene registrieren, für quantitative Aussagen wären aber wesentlich höhere Flüsse notwendig.

#### 7) Pulsierende Neutrinoquelle

Der Betazerfall der Spaltprodukte im Reaktor stellt die ergiebigste Neutrinoquelle dar, die es gibt. Außerhalb der Abschirmung der stärksten Reaktoren ist der Neutrinofluß in der Ordnung von 1013/cm2s. Die nachweisbaren Wechselwirkungen sind wegen des äußerst kleinen Wirkungsquerschnittes von 10<sup>-43</sup> cm<sup>2</sup> sehr selten. Durch Experimente mit großen Szintillationszählern konnten Cowan und Reines die Existenz des Neutrinos nachweisen, indem sie statistisch auswertbare Zählraten erhielten, und sie konnten das magnetische Moment des Neutrinos mit 10<sup>-9</sup> eines Bohrschen Magnetons bestimmten. Durch einen TRIGA-Impuls wird eine Betaaktivität entsprechend 20 MWs erzeugt; größtenteils innerhalb der nächsten 10 s wird ein starker Neutrinofluß ausgesendet, wenn die Gammastrahlen und schnellen Neutronen aus dem Reaktor nicht mehr vorhanden sind. Dieses weit günstigere Verhältnis zwischen gewünschtem Effekt und Hintergrund schafft weit bessere Vorbedingungen für neutrinophysikalische Experimente.

#### 8) Reaktortechnologie

Vom Standpunkt der Reaktortechnologie kann der Impulsbetrieb für Sicherheitseinrichtungen nützlich sein.

- (1) Man kann die Reaktorkinetik von Systemen unter dem Einfluß großer Reaktivitätsstöße sicher untersuchen.
- (2) Teile eines geplanten Reaktors können dem hohen Neutronenimpuls ausgesetzt werden, und so die Folgen eines Reaktorunfalles an ihnen studiert werden.
- (3) Sicherheitseinrichtungen zur Verhinderung von Reaktorunfällen und die Geschwindigkeit ihres Ansprechens bei Leistungssteigerungen können geprüft werden

Die Versuche können allerdings nur mit der Einschränkung gemacht werden, daß die zu prüfenden Bauteile keinen Spaltstoff enthalten oder andere Eigenschaften haben, die die inhärente Sicherheit des TRIGA beeinträchtigen könnten.

#### 9) Strahlungseffekte

Die Effekte der Bestrahlung von Festkörpern mit schnellen Neutronen hängen von der Versetzung der Atome aus ihrer Ruhelage ab. Weil ein großer Teil der Atome während der Bestrahlung an seinen Platz zurückdiffundiert, wurden im Brookhaven National Laboratory besondere Methoden entwickelt, die im Einfrieren der Gitterstörungen durch niedrige Temperaturen während der Bestrahlung bestehen. Man kann folgende Forschungen mit kurzen Bestrahlungsimpulsen anstellen:

(1) das Studium grundlegender Mechanismen von Bestrahlungswirkungen, sei es durch Beobachtung des Abklingens von Kurzzeiteffekten unmittelbar nach dem Impuls, sei es durch Einbringen der Probe bei tiefer Temperatur mit nachfolgender Bestrahlung und ihrer Entfernung, bevor die Temperatur wesentlich ansteigt;

(2) das Studium von Dauer- und Kurzzeiteffekten an strahlungsempfindlichen Halbleitern oder anderen Teilen in elektronischen Regelsystemen von der Art, wie man sie in Raumschiffen verwendet, die beim Durchfliegen durch den Van-Allen-Gürtel Kernstrahlungen ausgesetzt sind.

Weil Strahlungseffekte eher von schnellen als von langsamen Neutronen stammen, sind die wirksamsten Bereiche im Reaktor für diese Studien, die mit hohem Neutronenfluß; diese sind durch Röhren zwischen den Brennstoff-Moderatorelementen zugänglich. Mit Hilfe bestimmter neutronenabsorbierender Materialien kann der thermische Fluß überall in geladene Teilchen umgesetzt werden, die ausgesendet werden und "thermische Nester" nahe dem zerfallenden Atom erzeugen.

#### 10) Biomedizinische Forschungen

Eine vielversprechende Anwendung des impulsbetriebenen TRIGA liegt auf dem Gebiet der Biologie und Medizin.

#### 10,1) Aktivierungsanalyse

Es erscheint sowohl in biologischen als auch physikalischen Systemen wichtig, eine nicht zerstörende chemische Analyse in einem bestimmten Zeitpunkt eines biologischen Prozesses, allenfalls am lebenden Organismus, mit der Möglichkeit einer Wiederholung in einem späteren Zustand des Prozesses anstellen zu können.

#### 10,2) Bestrahlungseffekte

Für Strahlenschutzmessungen, wie sie bei der Entwicklung von Leistungsreaktoren auftreten, sind viele Grundtatsachen der biologischen Strahlungswirkung noch unerforscht, besonders Effekte durch hohe Strahlendosen bei Unfällen. Impulsbetrieb gibt höhere Bestrahlungsdosen verglichen mit normalem Reaktorbetrieb. Durch Hinzufügen geringer Mengen neutronenabsorbierender Substanzen wie He³, Li⁶, B¹⁰ oder U²³⁵ kann die Strahlungsdosis durch die ausgesendeten Teilchen so sehr erhöht werden, daß das Experiment nur mehr durch die höchstzulässige Temperatur des Gewebes bestimmt wird.

#### 10,3) Neutronentherapie

Die Zerstörung kranker Gewebe durch Neutronenbestrahlung und durch den Zerfall von eingeführtem B<sup>10</sup> oder anderen neutronenabsorbierenden Stoffen wird bereits in der Medizin angewendet. Diese Technik kann durch kurze, starke Neutronenimpulse verbessert werden, die gerade bei der maximalen Borkonzentration oder zu einer anderen medizinisch günstigen Zeit einsetzen.

#### 10,4) Gammastrahlenquelle

Die übliche Gammastrahlenquelle ist Co<sup>60</sup> mit 5,2 a Halbwertszeit, wobei dieses Isotop stark abgeschirmt sein muß. Es gibt aber auch eine 10,5-Minuten-Periode von Co<sup>60</sup> mit einem ungefähr gleichen Gammaspektrum, das fast die Hälfte der Aktivität ausmacht. Diese Co<sup>60</sup>-Quelle, mit dem gleichen Gammafluß wie die übliche, kann durch kurzzeitige Bestrahlung im TRIGA bei höherer Leistung, wenn auch nicht durch einen Impuls erzeugt werden. Noch stärkere Gammaquellen können mit anderen kurzlebigen Stoffen erzeugt werden.

# Die Aufgaben der Abteilungen des Atominstitutes

## **Unterricht und Forschung im Atominstitut**

Von G. ORTNER, Wien

DK 061.62 (436.14): 621.039

Wie jedem Hochschulinstitut obliegt auch dem Atominstitut die Pflege von Unterricht und Forschung. Beides wird sich vorerst in der Hauptsache um den Reaktor gruppieren. Später wird wohl auch ein Teilchenbeschleuniger in irgendeiner Form errichtet werden, wodurch ein zweiter Mittelpunkt im Atominstitut entstehen würde.

Die der Eröffnung des Institutes folgende Zeit wird in erster Linie dem Ausbau des Vorlesungs- und Praktikumsbetriebes gewidmet sein, was in Anbetracht des sehr kleinen Stabes von Mitarbeitern des Institutes eine längere Zeit in Anspruch nehmen wird. Das Institut führt bereits jetzt ein Lehr- und Forschungsprogramm durch, das freilich wegen des zur Verfügung stehenden sehr beschränkten Platzes noch nicht sehr umfangreich ist. Vorlesungen über Reaktorphysik und Neutronenphysik werden seit mehreren Jahren von den Mitgliedern des Atominstitutes an der Universität und Technischen Hochschule Wien abgehalten und stoßen auf beachtliches Interesse. Desgleichen werden seit mehreren Jahren einführende praktische Übungen über Radiochemie und Isotopenanwendung durchgeführt, und auch ein kurzes Praktikum über nukleare Elektronik wird abgehalten. Diplomarbeiten, als Vorbedingung für die zweite Staatsprüfung an der Technischen Hochschule Wien, und Dissertationen an den beiden Hochschulen sind im Atominstitut im Gange und teilweise schon beendet. Die Themen sind derzeit wegen Mangel an experimentellen Möglichkeiten meist theoretischer Natur (Dissertationen über Probleme der Neutronentransporttheorie, theoretische Untersuchungen des TRIGA-Cores und Abschirmberechnungen). Mehrere Diplomanden sind mit elektronischen Arbeiten für die Warnanlage in der Reaktorhalle beschäftigt. Nach Einlangen einer Plutonium-Beryllium-Neutronenquelle werden auch experimentelle Untersuchungen mit Neutronen in das Unterrichtsprogramm aufgenommen werden können. Auf diese Weise ist es möglich, schon vor Inbetriebnahme des Reaktors und der Laboratorien der Nachfrage von Studenten nach Diplomarbeiten und Dissertationen auf den im Atominstitut gepflegten Wissensgebieten wenigstens etwas nachzukommen.

Nach Inbetriebnahme des Reaktors und der Laboratorien soll das Unterrichtsprogramm entsprechend den aufkommenden Bedürfnissen weiter ausgebaut werden. In die Atomkerntechnik spielen fast alle Zweige der Naturwissenschaften und der klassischen Ingenieurwissenschaften mehr oder weniger maßgeblich hinein und es ist wohl ausgeschlossen, "Kerningenieure" in dem Sinne auszubilden, daß jeder alle diese für den Bau einer Kernenergieanlage erforderlichen Kenntnisse in vollem Umfang beherrscht. Die Ausbildung muß sich darauf beschränken, dem in einem klassischen Fach ausgebildeten Ingenieur einen Überblick über das Gebiet der Kerntechnik zu geben, so daß er in der Lage ist, die Bedeutung und Möglichkeiten seines eigenen Faches zu beurteilen und sich allenfalls in seinem Fach in der Richtung Kerntechnik weiterzubilden. In dieser Absicht

ist der folgende Vorlesungs- und Übungenplan aufgestellt worden, der nach Maßgabe der Nachfrage und verfügbaren personellen und sachlichen Ausstattung des Institutes realisiert werden soll.

#### Geplante Lehrveranstaltungen im Atominstitut

Einführungsvorlesungen (für ein Semester veranschlagt):

- 1) Kernphysik
- 2) Neutronen- und Reaktorphysik
- 3) Strahlenabschirmung und Strahlendosimetrie (radioaktive Abfälle)
- 4) Chemie der radioaktiven Stoffe
- 5) Elektronik der nuklearen Meßgeräte
- 6) Einführung in die technischen Probleme der Kernenergieanlagen (Reaktoren usw.)
- 7) Mathematische Hilfsmittel

Vorlesungen für Fortgeschrittene (für ein Semester veranschlagt):

1)	Neutronenphysik	3 h
2)	Reaktortheorie	3 h
3)	Brennstoffzyklen	1 h
4)	Theorie der Meßgeräte in der Kern- und Reaktorphysik	2 h
5)	Regelsysteme und Servomechanismen in der Reaktortechnik	3 h
6)	Strahlenchemie	2 h
7)	Chemische Trennmethoden der radioaktive Stoffe	n 3 h
8)	Anwendung radioaktiver Isotope in der Technik	2 h
9)	Anwendung radioaktiver Isotope in der Biologie	2 h
10)	Anwendung radioaktiver Isotope in der Chemie	2 h
11)	Isotopentrennmethoden	2 h
12)	Technologie der Reaktorbaustoffe	3 h
13)	Abschirmtheorie	2 h
14)	Typenlehre der Reaktoren	2 h

#### Praktische Übungen:

#### Physik:

- 1) Kernphysikalisches Anfängerpraktikum
- 2) Neutronenphysikalisches Praktikum
- 3) Reaktorpraktikum
- 4) Festkörperpraktikum

Jahrgang 78, Heft 19

- 5) Einführung in die Radiochemie
- 6) Radiochemisches Praktikum für Fortgeschrittene
  - a) Radiochemische Methoden der organischen und biochemischen Fachrichtungen
  - b) Radiochemische Methoden der anorganischen und analytischen Fachrichtungen
  - c) Meßtechnische Spezialaufgaben
- 7) Metallurgie der Reaktorbrennstoffelemente
- 8) Chemisches Reaktorpraktikum

#### Elektronik:

- 9) Kernelektronisches Praktikum für Anfänger
- 10) Kernelektronisches Praktikum für Fortgeschrittene
- 11) Reaktorelektronik

#### Strahlenschutz:

#### 12) Strahlenschutzkurs

Dieses Unterrichtsprogramm ist nicht so aufzufassen. daß jeder Student sämtliche darin aufgeführten Vorlesungen und Übungen besuchen soll oder auch nur kann; besonders gilt das für das Programm für Fortgeschrittene. Die Idee ist vielmehr, daß allenfalls nach Einführungsvorlesungen die Studenten entsprechend ihrem Grundstudium eine Auswahl treffen. Will ein Student in einem der Zweige der Atomkerntechnik eine Diplom- oder Doktorarbeit ausführen, so wird er etwa zwei Jahre benötigen, wobei das erste Jahr dem Besuch der Vorlesungen und Übungen am Atominstitut gewidmet sein soll. Das Schwergewicht wird natürlich auf den praktischen Übungen und der experimentellen Tätigkeit liegen. Die Studenten sollen insbesondere am Reaktor selbst arbeiten und sich mit allen seinen Eigenschaften und der gesamten Meßtechnik vertraut machen können.

Es ist vielleicht verfrüht, im jetzigen Bauzustand des Institutes ein detailliertes Programm über die Forschungstätigkeit des Institutes zu geben. Die aktuellen Fragen bleiben nicht die gleichen, sie ändern sich sogar schnell. Dazu kommt noch die finanzielle Beschränkung, die insbesondere für Hochschulinstitute charakteristisch ist. Die Experimente mit dem Reaktor sind häufig kostspielig, da dafür meist ein umfangreicher, apparativer

Aufbau mit teueren, elektronischen Einrichtungen erforderlich ist. Neutronenspektrometer, Neutronen-Flugzeitapparaturen und ähnliches sind nicht billig. Die Arbeiten im Atominstitut müssen sich daher von vorneherein auf Gebiete beschränken, die einerseits lohnend sind, aber keinen allzu großen Aufwand erfordern. Vorerst sollen Methoden zum Nachweis und für die Energiemessung schneller Neutronen untersucht und entwickelt werden. Ein weiteres Gebiet ist die Untersuchung kurzlebiger Isotope, die in den mit dem TRIGA möglichen "flash"-Experimenten erzeugt werden können. Eine Reihe von anderen Anwendungen der "flash"-Experimente ist in dem Beitrag von McReynolds angeführt. Wenn die Mittel ausreichen, soll auch an die in neuerer Zeit in Angriff genommenen und vielversprechenden Untersuchungen mit extrem langsamen ("kalten") Neutronen, die für die Festkörpereigenschaften aufschlußreich sind, herangegangen werden. Der Neutronenfluß des TRIGA würde dafür noch ausreichen. Ein anderes sehr aktuelles Gebiet, das mit dem TRIGA in Angriff genommen werden kann, ist das Studium der Thermalisierung der Neutronen in verschiedenen, im Reaktorbau interessanten Medien. Wenn auch ein Neutronenfluß von 10<sup>13</sup> Neutronen/cm2s und darüber natürlich mehr Möglichkeiten bietet als einer von 1012 Neutronen/cm2s, so ist doch zu bedenken, daß die alten Natururanreaktoren mit Graphit und einige mit schwerem Wasser als Moderator keinen größeren Fluß als etwa 10<sup>12</sup> n/cm<sup>2</sup>s hatten und trotzdem mit ihnen zahlreiche Experimente und Messungen auch an monokinetischen Neutronen ausgeführt wurden und noch werden. Was mit dem TRIGA geleistet werden kann, wird weit weniger vom Neutronenfluß als vom Geldfluß abhängen, aus dem das Atominstitut wird schöpfen können.

Weitgehend ausgenützt werden die großen Möglichkeiten des TRIGA für die Erzeugung insbesondere kurzlebiger Isotopen werden, für die besonders auch von Seiten der Biologen und Mediziner ein großes Interesse besteht. Dabei wird der große Vorteil der Nähe des Reaktors zu den anderen Hochschulinstituten, den Kliniken und Krankenhäusern sich erst ganz auswirken. Man könnte täglich mehrere hundert Curie Gesamtaktivität produzieren. Die im Keller unter der Reaktorhalle eingerichtete heiße Zelle gestattet das Arbeiten mit hohen Aktivitäten von 10 c und darüber.

# Die Chemische Abteilung des Atominstitutes

Von O. BOBLETER und K. BUCHTELA, Wien

DK 621.039.572 (436.14): 542.1

Die chemische Abteilung des Atominstitutes ist mit zahlreichen Aufgaben im Rahmen des Institutsprogramms betraut. Diese begannen mit ausgedehnten Planungsarbeiten für die chemischen Einrichtungen des Reaktors, der Laboratorien, der heißen Zelle, der Abwasseranlage usw., betreffen die schon vor mehr als zwei Jahren eingeführten praktischen Übungen der Studenten und reichen schließlich bis zu den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die sich unter den bisherigen Möglichkeiten realisieren ließen.

An Hand einiger Beispiele sollen der Aufbau, die Einrichtung und die funktionellen Zusammenhänge charakteristischer Arbeitsbereiche beschrieben werden, um dadurch einen kurzen Überblick über das Planungskonzept [1], [2] der wichtigsten Betriebsanlagen der chemischen Abteilung vermitteln zu können.

#### 1) Die chemischen Anlagen des Reaktors

Im oberen Teil des Corereflektors (Abb. 1) befindet sich ein Isotopendrehkranz 1, in dem 40 Proben mit je 70 cm³ Inhalt bestrahlt werden können. Mit Hilfe eines Aufzugmechanismus 2 können die gewünschten Einsätze aus dem Drehkranz entnommen und direkt in ein Bleigefäß eingeführt werden. Die größten Aktivitäten können im Bereich des maximalen Flusses in einem zentralen Bestrahlungsrohr 3 erhalten werden. Aktivie-

rungen von größeren Proben können in den Neutronenstrahlrohren 4 durchgeführt werden. Für die Aktivierungsanalyse kurzlebiger Isotope eignet sich vor allem chert werden. Sollte durch irgendeinen Vorgang dieses Wasser unbrauchbar geworden sein, so kann dieses über eine direkte Verbindung zu den Abwassersammeltanks

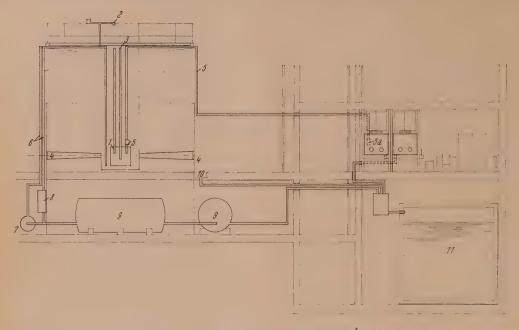


Abb. 1. Die chemischen Anlagen des TRIGA

1 Entnahmestelle der Isotopendrehkranzanlage, 2 dazugehöriger Aufzugsmechanismus, 3 zentrales Bestrahlungsrohr, 4 Neutronenstrahlrohre, 5 pneumatische Rohrpostanlage, 5 a Sende- und Entnahmestationen der pneumatischen Anlage im Isotopenabzug eines radiochemischen Laboratoriums, 6 Reaktorkühlsystem, 7 Wärmeaustauscher, 8 Ionenaustauscher, 9 Tankwasserbehälter, 10 Bodensiphon der Reaktorhalle und 11 Abwassersammeltanks

ein pneumatisches Rohrpostsystem 5, dessen Sendeund Entnahmestelle in einem radiochemischen Isotopenabzug 5a im ersten Forschungslaboratorium unterge11 zur Dekontamination geleitet werden. Bei einem Strahlrohrbruch könnte u. U. Reaktortankwasser in die Reaktorhalle austreten. Auf Grund der Fußbodenausge-

staltung müßte dieses Wasser über den Bodensiphon 10 in die Abwassersammeltanks 11 fließen.

# 

Abb. 2. Heiße Zelle und Hantierraum

1 Heiße Zelle, Innenraum, 2 Manipulatoren, 3 Kran, 4 Bleiglasfenster, 5 Stöpsel der Vorderfront, 6 absenkbare Tischplatte der einen Zellenhälfte, 7 Schwerbetontür (eingefahren), 8 Schwerbetontür (ausgefahren), 9 Durchbruch im Reaktorboden, 10 Krananlage der Reaktorhalle, 11 Zuluft der heißen Zelle, 12 Abluft der heißen Zelle, 13 Hantierraum, 14 Beta-Zelle und 15 Gamma-Zelle (10-cm-Bleiwand)

bracht ist. Der Wärmeaustauscher 7 und der Ionenaustauscher 8 des Kühlkreislaufes 6 sind im Keller der Reaktorhalle untergebracht. In zwei großen Tankbehältern 9 kann das gesamte Reaktortankwasser gespei-

# 2) Die "Heiße Zelle" und der Hantierraum

Die heiße Zelle 1 (Abb. 2) besteht aus zwei Arbeits-räumen, die von je einem Paar Manipulatoren 2 bedient werden, Gamma-Aktivitäten bis zu 10 c können in dieser Zelle bearbeitet werden. Ein Kran 3 ist für schwerere Hebearbeiten vorgesehen. An der Bedienungsfront befinden sich zwei Bleiglasfenster 4 und Stöpsel 5 für Installationsdurchführungen. Die Arbeitswanne 6 der einen Zellenhälfte ist um 60 cm absenkbar, um eine Raumvergrößerung für bestimmte Experimente errei-

chen zu können. An der rückwärtigen Zellenseite befinden sich eine kleine und eine große Schwerbetontür 7. Letztere besitzt eine Tragfläche, die mit Bleigefäßen bis zu 1,5 t belastet werden kann. Im ausgefahrenen Zu-

stand 8 kann diese Türe mit Hilfe des Reaktorbedienungskranes 10 über eine Öffnung 9 im Reaktorhallenfußboden be- und entladen werden. Zuluft 11 und Abluft 12 sind so geregelt, daß in der Zelle dauernd ein geringer Unterdruck erhalten bleibt.

Im Hantierraum 13 werden eine sogenannte Betazelle 14 für starke Alpha- und Betapräparate und eine Gammazelle 15, die die Bearbeitung von Gammapräparaten bis etwa 1 c zuläßt, vorgesehen.

#### 3) Forschungslaboratorien [3]

In den vier Forschungslaboratorien wird mit "fallenden Aktivitäten" gearbeitet werden, so daß im "heißen" radiochemische Forschung mit Aktivitäten bis zu etwa 100 mc durchgeführt wird. In den beiden "warmen" Laboratorien dürfen nur mehr Präparate bis etwa 10 mc gehandhabt werden. Der vierte Arbeitsraum soll für Arbeiten mit inaktiven Substanzen reserviert bleiben.

In Abb. 3 ist ein charakteristischer Ausschnitt aus der Laboratoriumsanordnung wiedergegeben. Ein Mittelgang 1 trennt die Sitzzimmer 2, in denen Literatur-, Schreibarbeiten usw. durchgeführt werden, von den experimentellen Arbeitsräumen wie radiochemisches Laboratorium 3, Wägeraum 4, Meßraum 5 usw. Über den Vorraum 6, in dem sich Garderobekästen für die Arbeitskleidung 7, Glasvitrinen für inaktive Chemikalien 8 und eine Handwaschmöglichkeit 9 befinden, werden die Arbeitsräume betreten. In den Laboratorien 3 befindet sich ein Doppelarbeitstisch 10, der an beiden Enden Spülbekken und einen 30 cm hohen trapezförmigen Mittelaufbau für Installationsauslässe angebracht hat. Die Digestorien 11 sind an ihrer Rückwand und unter der Arbeitsfläche mit je 15 cm

Schwerbeton versehen und haben im oberen Teil ein Vorfilter eingesetzt. Die Frischluft tritt, aus der Installationswand 12 kommend, oben in den Raum ein und wird durch die Digestorien wieder abgesaugt. Da sämtliche Installationsleitungen (Wasser, Gas, Preßluft, Abwasser, Zu- und Abluft, Stromleitungen) in einer bestimmten Raumhöhe aus der Installationswand austreten bzw. in diese eingeführt sind, kann der plastik-überzogene Fußboden als flüssigkeitsdichte Fläche ausgebildet werden. In der Nähe der Fensterfront können größere Apparaturen aufgebaut werden. Die dazu benötigten Leitungen werden über Kopfhöhe von den Digestorien bzw. Arbeitstischen zu den entsprechenden Stellen geführt.

#### 4) Praktikumslaboratorien

Die Laboratorien für die praktischen Übungen der Studenten, die sich im ersten Stock der Institutsanlage befinden, haben das selbe Planungskonzept wie die beschriebenen Forschungslaboratorien und brauchen daher an dieser Stelle nicht mehr eingehender beschrieben zu werden.

#### 5) Spezielle Arbeitsräume

Im ersten Kellergeschoß befinden sich zwei Räume, die für spezielle Arbeitsaufgaben vorgesehen sind. Der eine enthält eine kleine Klimaanlage, um temperaturund feuchtigkeitsempfindliche Messungen durchführen zu können, der andere ist für den Aufbau einer halbtechnischen Anlage geeignet. Eine verflieste Boden-

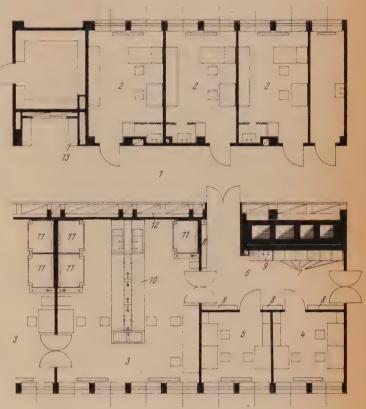


Abb. 3. Ausschnitt aus der Laboratoriumsanlage

1 Gang, 2 Sitzzimmer, 3 radiochemischer Laboratoriumsraum, 4 Wägeraum, 5 Meßraum, 6 Vorraum, 7 Garderobekästen, 8 Chemikalienschränke, 9 Handwaschanlage und Zuleitung des destillierten Wassers, 10 Doppelarbeitstisch, 11 Isotopenabzüge, 12 Installationswand und 13 Hand- und Fußmonitor

stufe und Wandseite mit einem Traggerüst und Installationszuführungen erlauben die Aufstellung von Apparaturen, die einen Flächenbedarf bis zu etwa  $4\times3$  m in Anspruch nehmen.

#### 6) Dekontaminationsräume

Die Abwasseranlage [4], [5], die nach unserem Entwurf unter Berücksichtigung des amtlichen Wasserrechtsbescheides gebaut wird, wurde bereits an anderer Stelle (S. 566) beschrieben.

In einem eigenen Dekontaminationsraum steht eine kleine Eindampfanlage, in der die flüssigen, höher aktiven Laboratoriumsabfälle zur Eindampfung gelangen. Ein im selben Raum befindlicher Edelstahlarbeitstisch mit Waschbecken erlaubt die Entaktivierung von Arbeitsgeräten.

Ein zusätzlicher Raum dient zur Lagerung fester aktiver Abfälle. In Blechtonnen werden dort die entsprechenden Materialien von den Laboratorien, die Eindampfrückstände und die verfestigten Fäll- und Filterprodukte der Abwasseranlage bis zum Abtransport gelagert. Ein Schacht an der Außenwand dieses Raumes führt direkt ins Freie, um beim Verladen dieser aktiven Abfälle keine weiteren Wege durch das Institutsgebäude mehr machen zu müssen.

#### 7) Betriebsaufgaben der chemischen Abteilung

Der chemischen Abteilung fallen eine Reihe von rein betriebstechnischen Aufgaben innerhalb des Institutes zu. Bei der Durchführung von Reaktorexperimenten muß von dieser Seite eine Beurteilung der chemischen Aspekte, die während des Versuches aufFällung, Ionenaustausch und Papierchromatographie, Radiographie usw., durchgeführt werden.

In Vorbereitung befindet sich ein metallurgisches Praktikum der Reaktorbrennstoffelemente. In den experimentellen Arbeiten sollen dabei Untersuchungen über die mikroskopische Struktur von Uran und Uranlegie-

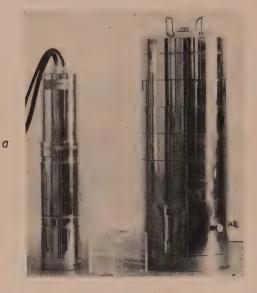




Abb. 4. Bleikammer zur Messung radioaktiver Proben

- a Szintillationszähler, Probenhalterung und Bleikammer
- b Bleikammerunterteil mit einem Ring für Kabeldurchführung, Zählrohrhalterung für Flüssigkeitszähler, Normalring, Zählrohrhalterung für Endfensterzählrohre, Deckelring und Pfropfen

treten können, vorgelegt werden. Ebenso bedürfen der Reaktorwasserhaushalt und die Deionisierungsanlage einer ständigen Überwachung.

Die Bedienung der Abwasseranlage wird einen großen Arbeitsaufwand erfordern, da mit einem täglichen Abwasseranfall von etwa 3 m³ gerechnet wird. Jeder Arbeitsvorgang (Fällen, Filtrieren, Ionenaustausch und Auslauf) ist dabei mit Probenentnahmen und Aktivitätsbestimmungen verbunden.

Für die Lagerung und Ausgabe von inaktiven Chemikalien und Glasgeräten stehen drei kleinere Räume zur Verfügung.

In Zusammenarbeit mit dem Strahlenschutz werden die radioaktiven Substanzen, die sich im Institutsgebäude befinden, einer ständigen Kontrolle unterzogen. Im Keller befindet sich ein Lager für hochaktive Gammastrahler. Mittlere Aktivitäten können in einem Handlager im Parterregeschoß untergebracht werden. Substanzen mit niedriger Aktivität werden in kleinen Bleitresoren in den einzelnen Laboratorien aufbewahrt.

#### 8) Unterricht

Sett Ende 1958 wurden von unserem Institut, gemeinsam mit dem Institut für Analytische Chemie der Universität Wien (Vorstand Prof. Dr. F. Hecht) und dem Institut für Verfahrenstechnik an der Technischen Hochschule, Wien (Vorstand Prof. Dr. K. Peters), 21 radiochemische Einführungskurse über jeweils etwa 10 Tage gehalten. Das Interesse der Studierenden an dieser nichtobligatorischen Unterrichtsveranstaltung ist außerordentlich groß. Die Kurse beinhalten Vorlesungen und praktische Übungen, in denen Aufgaben, wie Messungen mit Geiger-Müller-Zählanlagen,  $\beta$ - $\gamma$ -Absorption,  $\beta$ -Rückstreuung, Selbstabsorption dicker Proben, Adsorptionsfällung, Trennen von aktiven Verbindungen durch

rungen, Darstellung von Uran und dessen Legierungen, Herstellung von keramischen und metallischen Brennstoffelementen usw., durchgeführt werden.

In möglichst kurzer Zeit sollten zudem die radiochemischen Praktika für Fortgeschrittene eingerichtet werden. Diese Praktika werden verschiedene Interessengebiete der Radiochemie berücksichtigen: organisch-biochemische Methoden, spezielle meßtechnische Arbeiten und anorganisch-analytische Verfahren.

#### 9) Forschung und Entwicklung

Die Institutsplanung und die Durchführung des Unterrichtsprogramms haben ein großes Maß an Arbeit in Anspruch genommen. Trotzdem ist es auch gelungen,



Abb. 5. Bleischwenkziegel. Die zylinderartige Formgebung auf der einen Seite ermöglicht Ziegelwandaufbauten mit Winkeln zwischen 90 und 180°

mit Forschungsarbeiten in einem bescheidenen Ausmaß zu beginnen.

Im Rahmen eines Forschungsauftrages der Internationalen Atomenergie-Organisation wurden Ionenaus-

tauscher auf Holzbasis für die Behandlung radioaktiven Abwassers entwickelt. Bei vorerst hergestellten Kationenaustauschern liegt die Kapazität etwas unter der von handelsüblichen Produkten, die Herstellungskosten werden aber wesentlich geringer sein als bei den bisher in Verwendung stehenden Ionenaustauschern. Darüber hinaus stellen diese Substanzen ein sehr gutes Reinigungsmittel für radioaktiv verunreinigte Oberflächen dar. Die trockenen Ionenaustauscher dieser Art lassen sich sehr leicht verbrennen, wodurch das Volumen der aktiven Verbindungen in Form des Aschenrückstandes sehr stark verringert werden kann.

Zur Zeit sind physikalisch-chemische Untersuchungen über die Wirkung von Kernstrahlung auf Halbleiter im Gange.

Eine Abwasser-Probensammel-Anlage steht in Entwicklung. Durch diese Apparatur soll die in allen kernwissenschaftlichen Instituten dauernd notwendige Herstellung von Abwasserproben zur Aktivitätskontrolle weitgehend automatisiert werden und dabei die Genauigkeit bekannter Methoden erhalten bleiben.

Für die radiochemische Laboratoriumseinrichtung wurden zahlreiche kleinere Geräte entwickelt, deren Herstellung österreichische Firmen übernommen haben. Erwähnt sei z. B. die Bleikammer<sup>1</sup>) (Abb. 4a u. 4b) für die Messung radioaktiver Proben. Sie kann durch die vorhandenen Einzelringe leicht bis zu den gewünschten Höhen aufgebaut werden. Die üblichen Zählrohrtypen (G-M-Endfenster- und Flüssigkeitszählrohre, Szintillationszähler in Normal- und Bohrlochausführung, zylindrische Methandurchflußzähler usw.) lassen sich ohne weiteres in dieser Bleikammer verwenden.

Erstmalig kam in unserem Institut auch eine neue Bleiziegeltype<sup>1</sup>) (Abb. 5) in Anwendung. Durch die zylinderartige Formgebung auf der einen Seite kann man mit diesen Ziegeln Winkelbauten (mit Winkeln zwischen 90 und 180°) herstellen, ohne spezielle Winkelziegel verwenden zu müssen.

Ein Handschuhkasten<sup>2</sup>) (Glove Box) [6] aus PVC-Material (Abb. 6) wurde entworfen. Als Neuerung gegenüber bekannten Modellen erhielt dieser Kasten durch Schnellverschlüsse gasdicht befestigbare Seiten-

teile. Durch dieses Bauprinzip werden Installations-, Aufbau- und Reinigungsarbeiten wesentlich erleichtert. Darüber hinaus können ohne weiteres zwei oder mehrere dieser Handschuhkästen aneinander angeschlossen werden, um größere Experimente in einem Arbeitsraum durchführen zu können.

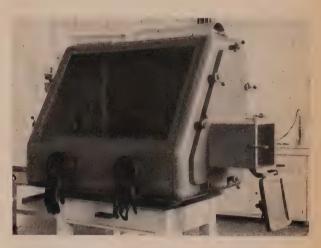


Abb.,6. Handschuhkasten (glove box) mit Schnellverschlüssen. Die Seitenteile können rasch ausgewechselt und bei Bedarf mehrere Handschuhkästen aneinander angeschlossen werden

Einige theoretisch konzipierte Forschungs- und Entwicklungsaufgaben der Aktivierungsanalyse, der chemischen Reaktortechnologie und der Abwasserdekontamination sollen nach Inbetriebnahme des Reaktors begonnen werden.

#### Schrifttum

- [1] Bobleter, O.: Kerntechnik, 3. Jg. (1961), S. 133.
- [2] COLEMAN, H. S.: Laboratory Design. New York: Reinhold Publishing Corp. 1951.
- [3] GADDA, F., und A. SCARONI: Energia Nucleare, 4. Jg. (1957), S. 379.
  - [4] Burns, R. H.: AERE-M 649, 1960.
- [5] BOBLETER, O., und K. BUCHTELA: E und M, 78. Jg. (1961), H. 19, S. 566.
- [6] Walton, G. N.: Glove Boxes and Shielded Cells. London: Butterworths Scientific Publications. 1958.

# Die Elektronikabteilung des Atominstitutes

Von H. Weiss, Wien

DK 621.039.572 (436.14): 621.039.564: 621.384.6

Die Elektronik hat heute in der kernphysikalischen Forschung eine derart große Bedeutung erlangt, daß man praktisch von einem eigenen Fachgebiet sprechen kann. Der Ausdruck "Elektronik" in der Kernphysik ist ein Sammelbegriff für alle Geräte und Meßanlagen vom Strahlendetektor über Verstärker bis zu den Registriergeräten. Daneben spricht man auch von der "Reaktorelektronik" und versteht darunter die Geräte zur Neutronenflußmessung, Reaktorsteuerung und Überwachung usw.

Die Gründe, weshalb die Elektronik in der Kernphysik eine wesentliche Rolle spielt, sind etwa folgende: 1. sind sehr viele Strahlenmeßmethoden mit der Verwendung von elektronischen Geräten verbunden und

2. ermöglicht erst eine hochentwickelte Elektronik einen entsprechenden Fortschritt in kernphysikalischen Untersuchungen. Man denke z. B. an Koinzidenzanordnungen mit möglichst hoher Auflösung, d. h. die Fähigkeit kurz aufeinanderfolgende Ereignisse noch getrennt zu erfassen.

Eine intensive kernphysikalische Forschung bedingt also eine entsprechende Forschung in der Elektronik.

<sup>1)</sup> Fa. Hutterer u. Lechner, Himberg bei Wien.

<sup>2)</sup> Fa. Inges-Klimatechnik, Wien.

Für das Atominstitut der österreichischen Hochschulen ist daher eine gut funktionierende Elektronikgruppe besonders notwendig.

#### 1) Aufgaben der Elektronikabteilung

Die Aufgaben der Abteilung kann man wie folgt aufgliedern:

#### 1,1) Kernphysikalische Elektronik

- (1) Wartung der vorhandenen Geräte und routinemäßiger Bau von bereits durchentwickelten Geräten;
- (2) Übungsprogramm für Studenten und Kurse für bereits in der Praxis stehende Wissenschaftler und Techniker:
- (3) Entwicklung von speziellen Geräten für die anderen Abteilungen des Instituts;
- (4) grundlegende Untersuchungen, die nicht unmittelbar Anwendung finden (Forschungsprogramm).

#### 1,2) Reaktorelektronik

- (1) Wartung und laufende Kontrolle der Reaktorinstrumentierung;
- (2) Übungsprogramm für Studenten und Kurse für auswärtige Teilnehmer;
- (3) allgemeine Untersuchungen an Reaktorregelanlagen, eventuell mit einem Simulator;
- (4) Abänderungen an den Regel- und Meßeinrichtungen des Reaktors für besondere Zwecke (z. B. extreme Stabilisierung des Flusses);
- (5) Untersuchungen an Reaktorinstrumentierungen (z. B. Detektoren).

#### 1,3) Allgemeines Service

(1) Prüfung der Luft- und Wasserüberwachungsanlagen, der Alarmanlagen sowie der Monitoren für das Personal. Dies wird zum Teil in Zusammenarbeit mit dem Gesundheitsphysiker durchzuführen sein.

#### 2) Personal

Für diese Aufgaben soll vorläufig folgendes Personal zur Verfügung stehen:

Je ein wissenschaftlicher Assistent mit einer wissenschaftlichen Hilfskraft für die kernphysikalische Elektronik und die Reaktorelektronik.

Zwei Mittelschultechniker für den Wartungsdienst, Schaltarbeiten sowie für kleinere Konstruktionsaufgaben.

Ein Mechaniker für kleinere Arbeiten.

#### 3) Service

Das klaglose Arbeiten in den Laboratorien und am Reaktor hängt zum großen Teil von einem guten Wartungsdienst ab. Da bei einer größeren Anzahl von verwendeten Geräten erfahrungsgemäß immer irgendwelche Störungen auftreten und diese, um die Versuche nicht zu lange zu unterbrechen, möglichst schnell behoben werden sollen, ist es notwendig, daß der betreffende Fachschultechniker mit allen Geräten möglichst vertraut ist. Dies ist besonders wichtig, weil an einem Hochschulinstitut meist Geräte vieler verschiedener Her-

stellerfirmen verwendet werden und man keineswegs daran denken kann, Geräte zur Reparatur einzusenden. Das eben Gesagte gilt auch für das unter Punkt 1,3) angeführte allgemeine Service.

Beim Service an der Reaktorinstrumentierung werden der Reaktorsupervisor und die beiden Laboranten, die für den Reaktorbetrieb vorgesehen sind, den Fachschultechniker unterstützen.

Für die klaglose und schnelle Durchführung der Wartungsarbeiten ist ein gut ausgestattetes Lager für elektronische Materialien notwendig. Bei den zur Verfügung stehenden relativ geringen Mitteln und der großen Anzahl von verschiedenen Komponenten der verschiedensten Geräte ist dies nicht leicht zu erreichen. Es können daher im wesentlichen nur jene Teile auf Lager gelegt werden, die sehr lange Lieferzeiten haben und verhältnismäßig oft benötigt werden.

Neben der Wartung haben die Mittelschultechniker die Aufgabe, bereits entwickelte Geräte nach Schaltplänen oder Modellen endgültig aufzubauen. Dazu steht ihnen für kleinere mechanische Arbeiten eine Werkstätte mit einem Mechaniker zur Verfügung. Größere Arbeiten, wie Vorbereitung von ganzen Chassis usw., werden in der Hauptwerkstätte des Instituts, die über alle einschlägigen Maschinen verfügt, durchgeführt.

#### 4) Übungsprogramm

Eine wesentliche Aufgabe der Elektronikgruppe des Atominstituts ist die Ausbildung von Studenten auf dem Gebiet der kernphysikalischen- und Reaktorelektronik. Zu diesem Zweck ist eine Reihe von Übungen zur Einführung und für Fortgeschrittene vorgesehen.

In einem Praktikum für Anfänger sollen die Grundzüge der kernphysikalischen Meßtechnik und die dazu verwendeten Schaltungen und Geräte behandelt werden. Eine Voraussetzung für dieses Praktikum wird die Kenntnis der Funktion der elektronischen Grundelemente sein. Im vergangenen Studienjahr wurde bereits ein derartiges Praktikum, mit allerdings sehr beschränkter Platzanzahl, abgehalten.

Ein Praktikum für Fortgeschrittene wird sich mit komplizierteren Schaltungen, wie z. B. von Ein- und Mehrkanalgeräten, sowie verschiedenen Koinzidenzanordnungen usw., befassen. Die Geräte und Schaltungen, zum Teil von den Hörern selbst aufgebaut, werden auf ihre Funktion und Brauchbarkeit mit Spezialgeräten untersucht.

Für Reaktorelektronik ist ein Praktikum vorgesehen, in dem auf die Besonderheiten der Reaktorinstrumentierung, wie z. B. logarithmische Verstärker, Reaktorperiodemeßkreise, Ionisationskammerverstärker usw. eingegangen wird. Den Hörern wird auch die Möglichkeit gegeben werden, sich mit den Geräten für die Reaktorregelung vertraut zu machen. Auch an die Aufstellung eines Reaktorsimulators, mit dem Untersuchungen und Übungen über das Zeitverhalten von Reaktoren gemacht werden können, wird gedacht. Der Vorteil eines Simulators ist u. a. auch, daß es durch Verstellung von einigen wenigen Elementen leicht möglich ist, beliebige Reaktoren in ihrem Verhalten nachzubilden.

Neben diesen eigentlichen Übungen können Hörer in den letzten Semestern spezielle Probleme der Elektronik bearbeiten. Der wissenschaftliche Betrieb eines Hochschulinstituts hängt ja zu einem großen Teil von der Mitarbeit von Dissertanten und Diplomanden ab. Daher ist in der Elektronik die Aufnahme einer größeren Anzahl von Hörern für solche Zwecke vorgesehen.

Für die elektronischen Übungen werden gut eingerichtete Arbeitsplätze für etwa 20 Hörer und für die Dissertanten und Diplomanden eigene Räume mit Experimentiermöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Zu den Aufgaben der Elektronikassistenten zählt auch noch die Abhaltung von Kursen für Personen, die bereits in der Praxis stehen und sich schnell über nukleare- und Reaktorelektronik informieren wollen.

#### 5) Entwicklung und Bau von Geräten

Da für das umfangreiche Aufgabengebiet der Elektronikabteilung verhältnismäßig wenig Personal zur Verfügung steht, wird sich die Entwicklung von Geräten für die anderen Abteilungen des Instituts im allgemeinen auf Sondergeräte beschränken. So ist z. B. nicht an die Konstruktion von stabilisierten Netzgeräten und üblichen Verstärker- und Zählgeräten gedacht, sondem nur an Geräte, die in der erforderlichen Ausführung nicht bei Herstellerfirmen oder anderen Instituten erhältlich sind (z. B. Elektronik, die beim Betrieb von Choppern oder Pileoszillatoreinrichtungen usw. benötigt wird).

Im Zusammenhang mit dem Reaktorbetrieb wird die Elektronikgruppe auch Änderungen an der Reaktorinstrumentierung und Regeleinrichtung je nach den gestellten Anforderungen (z. B. extrem konstanter Neutronenfluß usw.) vornehmen. Dies wird zum Teil in Zusammenarbeit mit dem Reaktorsupervisor zu geschehen haben.

Der Impulsbetrieb des Reaktors gibt die Möglichkeit, das Verhalten von Reaktorinstrumentierungen unter hohen Flüssen zu untersuchen. Dies ist besonders interessant für die Prüfung von Reaktorregel- und Schutzanlagen auf ihr zeitliches Verhalten bei einer Reaktorexkursion.

Ein weiteres interessantes Problem ist die Speicherung von kernphysikalischen Meßvorgängen zum Zwecke späterer Auswertung. Man kann z. B. die Impulse eines Zerfallsspektrums etwa auf einem Magnetband speichern und zu beliebiger Zeit mit einem Vielkanalgerät ausmessen. Hierdurch ergeben sich speziell für kleinere Institute Vorteile, wie Auswertmöglichkeiten von Versuchen an fremden Vielkanalgeräten, Zeitersparnis bei Messungen mit niedrigen Aktivitäten (das Magnetband wird bei Wiedergabe schneller laufen gelassen) usw. Nicht zuletzt ist es günstig, den Versuch konserviert zu haben (etwa für spätere Vergleiche oder Prüfungen). Es besteht nun die Aufgabe, die Auflösung derartiger Speicher bei strenger Amplitudenlinearität und womöglich nicht allzu großem Aufwand sehr hoch zu machen.

Bereits seit längerer Zeit ist die Elektronikabteilung mit vorbereitenden Arbeiten für die Einrichtung des Instituts beschäftigt. Hierzu gehört unter anderem der Bau der Strahlenwarnanlage für die Reaktorhalle, der Strahlenmeßanlage für die chemischen Laboratorien sowie von Hilfseinrichtungen und Geräten zur Prüfung der oben genannten Anlagen.

#### 5,1) Strahlenwarnanlage des Atominstituts

Über die Aufgabe der Strahlenüberwachungs- bzw. Warnanlage wird an anderer Stelle berichtet. Hier sollen einige Überlegungen bei der Projektierung und eine kurze technische Beschreibung gebracht werden.

An die Strahlenüberwachungsanlage waren die folgenden Forderungen zu stellen:

- (1) Die Anlage soll einen guten Überblick über das Strahlenniveau in der Reaktorhalle und im Keller unter dem Reaktor geben.
- (2) Es sollen  $\gamma$ -Strahlung und eventuell auch energiereiche  $\beta$ -Strahlung erfaßt werden.
- (3) Es soll die  $\gamma$ -Dosisleistung im Bereich vom normalen Hintergrund bis etwa 50 r/h möglichst energieunabhängig gemessen werden.
- (4) Die Abluft der Reaktorhalle und die Entlüftung der Strahlrohre muß kontrolliert werden.
- (5) Die Anzeige des Strahlenniveaus soll in einem Bereich ohne Umschaltung des Meßgerätes möglich sein.
- (6) Bei zwei getrennt einstellbaren Strahlenniveaus sollen ein optischer und akustischer Vor- bzw. Hauptalarm ausgelöst werden.
- (7) Die Meßwerte aller Meßstellen müssen laufend auf schreibenden Geräten aufgezeichnet werden, während zeigende Geräte in der Nähe der Detektoren angebracht sein sollen.
- (8) Die Meßstellen sollen dauernd ohne Verwendung spezieller radioaktiver Präparate auf ihre Funktionsbereitschaft überprüft werden.
- (9) Die Anlage soll betriebssicher und wartungsfrei arbeiten.

Nach längeren Überlegungen und zum Teil auch praktischer Prüfung industriell fertiger Geräte hat sich das Atominstitut entschlossen, die Strahlenwarnanlage selbst zu entwickeln und einen Prototyp eines Meßkanales zu bauen. Nicht zuletzt waren dafür Kostengründe ausschlaggebend. Die endgültige Anlage wird von einer österreichischen Firma gebaut.

Die Elektronikabteilung hatte also zunächst die Aufgabe, die oben genannten neun Forderungen zu studieren, und die Anlage danach zu projektieren und den Prototyp zu bauen. Bei der Betrachtung der Punkte (2), (3) und (4), die die Detektoren bestimmen, zeigte es sich, daß eine einzige Detektortype nicht alle Forderungen erfüllen kann. Es wurden daher, obwohl es betrieblich ungünstig ist, vier verschiedene Detektoren gewählt.

- 1. Normale Geiger-Müller-Zählrohre mit einer Wandbelegung von 20...30 mg/cm² für  $\gamma$  und energiereiche  $\beta$ -Strahlung für den Bereich von etwa  $10^{-2}$  mr/h bis 100 mr/h. Die Zählrohre werden zum mechanischen Schutz zylinderförmig mit perforiertem Blech umgeben, welches innen mit einer Metall- oder Kunststoffolie versehen ist, je nachdem, ob  $\gamma$  oder  $\beta + \gamma$ -Strahlung erfaßt werden soll (die Eichung in Röntgen je Stunde gilt selbstverständlich nur für  $\gamma$ -Strahlung. Für  $\beta$ -Strahlung ist lediglich der Nachweis möglich);
- 2. Geiger-Müller-Zählrohre mit einer Wandbelegung von etwa  $80...100 \text{ mg/cm}^2$  für  $\gamma$ -Strahlung bis 50 r/h (Hochdosiszählrohre);
- 3. Geiger-Müller-Zählrohre mit einer Wandbelegung von etwa 4 mg/cm<sup>2</sup> zur Messung der  $\beta$  und  $\gamma$ -Strahlung

in den Abluftkanälen der Reaktorhalle und der Strahlrohre. Alle angeführten Zählrohre sind halogen gelöscht und haben gleiche Betriebsspannungen, so daß sie wahlweise an die einzelnen Zählkanäle angeschlossen werden können;

4. Luftwändige Ionisationskammern zur energieunabhängigen γ-Dosisleistungsmessung.

Über die Aufstellungsorte der Detektoren wird im Aufsatz über "Strahlenschutz" berichtet.

Die Betriebssicherheit und die Wartungsfreiheit sprachen für die Wahl einer volltransistorisierten Anlage; lediglich für die Ionisationskammern wird ein Elektrometerrohr verwendet.

Um die Anzeige des Strahlenniveaus in der Nähe

der Meßstellen zu haben, werden die Verstärker mit den Integrier- und Anzeigegeräten jedes Meßkanals möglichst gleich beim Detektor aufgestellt. Aus Ersparnisgründen hat nicht jeder Meßkanal ein eigenes Netzund Hochspannungsgerät, sondern es sind immer je zwei Meßkanäle in einem gemeinsamen Gehäuse mit gemeinsamer Stromversorgung zusammengebaut. Dadurch ist es nicht möglich, unmittelbar beim Detektor die Anzeige

zu haben, sondern das Gerät wird zwischen je zwei Meßstellen aufgestellt, was manchmal längere Zuleitungen ergibt. Aus diesem Grund wird mit dem Detektor ein transistorisierter Impedanzwandler zusammengebaut, der dann die längere Leitungsführung ermöglicht.

Jeder Meßkanal ist in Form einer Einschubeinheit aufgebaut und wird durch Messerkontakte mit dem Netzteil im Gehäuse verbunden. Durch diese Anordnung wird eine große Betriebssicherheit erreicht, denn bei Ausfall eines Meßkanales kann dieser mit wenigen Handgriffen ausgetauscht werden. Auch die Reservehaltung von Meßkanälen wird dadurch sehr erleichtert bzw. wirtschaftlich. Die Einschubeinheiten sind in gedruckter Schaltung ausgeführt, die auf mehreren, in Kontaktleisten gehaltenen Karten untergebracht ist. Eine eventuelle Reparatur gestaltet sich durch Auswechslung der Karten besonders einfach. Die einzelnen Schaltungen sowie das fertige Gerät werden in einem speziellen Temperaturschrank, der sowohl zur Kühlung als auch zur Erwärmung benützt wird, unter extremen Temperaturbedingungen geprüft.

Abb. 1 zeigt ein Blockschaltbild eines Meßkanals für die Geiger-Müller-Zählrohre. An das Zählrohr schließt ein Impedanzwandler an, der einen mehrstufigen Verstärker speist. Ein logarithmischer Integrierkreis ermöglicht eine Anzeige über etwa vier Dekaden der Strahlendosisleistung. Das Anzeigegerät sowie die Pegeleinstellung für die Alarmniveaus sind über einen Impedanzwandler angeschaltet. Auf dem Meßkanaleinschub sind außer den Meßgeräten noch zwei Lampen für Vorund Hauptalarmanzeige untergebracht. Von den einzelnen Meßkanälen führen Leitungen zu den Schreibern und Anzeigelampen auf der Reaktorschaltwarte. Damit ist auch dort ersichtlich, welche Meßstelle angesprochen hat. Weiter ist je eine Lampe für jede Meßstelle angeordnet, die den Ausfall des normalen Strahlenhintergrundes anzeigt, und damit als Funktionskontrolle für den Meßkanal wirkt.

Als akustische Warnung sind Hupen in der Reaktorhalle und im Reaktorkeller sowie ein Summer im Raum des Gesundheitsphysikers angebracht.

Während die optische Alarmanlage unverzögert, d. h. sobald das eingestellte Strahlungsniveau erreicht ist, anspricht, kann der akustische Alarm bis ungefähr 30 s verzögert werden. Dies ist vorgesehen, damit bei Transport von Isotopen oder sonstigen, kurz dauernden Niveauüberschreitungen nicht unnötig die ganze Reaktorhalle alarmiert wird. Die Quittierung kann nur von der Reaktorschaltwarte aus erfolgen.

Durch die Volltransistorisierung der Anlage konnte der Leistungsbedarf im Dauerbetrieb für die 19 Meßstellen unter 0,5 kVA gehalten werden. Damit ist es möglich, die Anlage an das stabilisierte Netz anzuschalten, ohne befürchten zu müssen, daß dieses bei Netzausfall durch Überlastung automatisch vom Diesel-Notstromaggregat getrennt wird. Das stabilisierte Netz wird nämlich bei Stromausfall über eine relativ niedrig

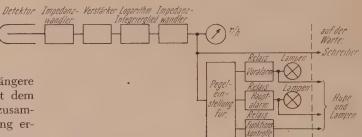


Abb. 1. Blockschaltbild eines Geiger-Müller-Meßkanales

eingestellte Leistungsbegrenzung an den Dieselsatz geschaltet (s. auch den Aufsatz über die Elektrizitätsversorgung).

#### 5,2) Strahlenmeßanlage für die chemischen Laboratorien

Da die Elektronikabteilung bei der Projektierung und beim Bau der Strahlenwarnanlage einige Erfahrung sammeln sowie Schaltungen entwickeln konnte, lag es nahe, auch die Strahlenmeßanlage (Monitoranlage) für die Chemielaboratorien selbst zu bauen.

Jedes Gerät soll aus einem logarithmischen Ratemeter, an das verschiedene Zählrohre — hauptsächlich Endfensterzählrohre — angeschlossen werden können und einer akustischen Anzeige des Strahlenniveaus bestehen. Für die akustische Anzeige wird ein kleiner Lautsprecher verwendet, der die Impulse des Zählrohres hörbar macht und der bei Überschreitung eines einstellbaren Strahlenniveaus einen Alarmton abgibt.

Die Eichung des Ratemeters erfolgt in Impulsen je Minute; doch wird für bestimmte Zählrohre und Präparate auch eine Eichung in Röntgen je Stunde vorgesehen.

Jede Meßstelle besitzt ein eigenes Netz- und Hochspannungsgerät sowie den eigentlichen Meßkanal, an den das Zählrohr über ein längeres flexibles Kabel angeschlossen wird. Das Gerät wird in die Laboratoriumswand versenkt eingebaut und außerdem kann mit einem Zählrohr auf den Laboratoriumstischen gearbeitet werden.

Die Anlage ist volltransistorisiert ausgeführt, wobei weitgehend die gleichen gedruckten Schaltungen wie bei der Strahlenwarnanlage verwendet werden, was mit Rücksicht auf Reservehaltung und Service sehr günstig ist.

Für die Prüfung und den Bau der beschriebenen Anlagen sind eine Reihe von Hilfseinrichtungen und Geräten notwendig. So wurde unter anderem bereits eine Versuchseinrichtung zur Prüfung der Ansprechniveaus von Strahlenwarnanlagen und ein Temperaturprüfschrank für Abkühlung und Erwärmung von Schaltungen und ganzen Geräten gebaut. Gegenwärtig wird eine extrem hochohmige, zwischen etwa 10<sup>-4</sup> und 10<sup>-14</sup> A regelbare, Stromquelle zur Prüfung von Ionisationskammerverstärkern, wie sie auch in der Reaktorinstrumentierung Verwendung finden, entwickelt.

#### 6) Forschungsprogramm

Neben der Wartung, dem Unterrichtsprogramm und der Geräteentwicklung für den Institutsbedarf wird die Elektronikabteilung auch noch ein eigenes Forschungsprogramm durchführen. Während für die im letzten Abschnitt angeführten Geräteentwicklungen zum Teil Diplomanden herangezogen werden, soll das eigentliche Forschungsprogramm unter wesentlicher Mithilfe von Dissertanten abgewickelt werden.

Gegenwärtig laufen einige Untersuchungen zur Entwicklung von Meßeinrichtungen für niedrigste  $\beta$ - und  $\gamma$ -Gasaktivitäten unter Verwendung von richtungsabhängigen Detektoren zur Verkleinerung des Hintergrundes.

Eine Arbeit befaßt sich mit den Möglichkeiten der Verkürzung von Totzeiten bei Geiger-Müller-Zählrohren. In diesem Zusammenhang wurden eingehende Versuche zur Bestimmung der Elektronen- und Ionenimpulsanteile sowie ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge in verschiedenen Zählrohren durchgeführt.

Es ist geplant, die Anwendung von Halbleiterelementen (Transistoren usw.) in der kernphysikalischen Elektronik systematisch zu studieren. Während sich die Transistoren in der Reaktorregeltechnik weitgehend durchgesetzt haben, ist das in der schnellen Impulselektronik aus verschiedenen Gründen noch nicht in dem Maß der Fall. Es wird also zunächst zu untersuchen sein, wo die jetzigen Grenzen der Anwendbarkeit für Transistoren liegen und in Zukunft eventuell Mittel und Wege zu finden, um die Vorteile dieser Halbleiterelemente weitgehender als bisher auszunützen. Durch die Transistorisierung ganzer Zählanlagen lassen sich beträchtliche Einsparungen an Platz, Gewicht und elektrischer Leistung gegenüber Geräten mit Röhren erzielen. So benötigt z. B. ein 100-Kanalgerät mit Röhren etwa  $1 \dots 2 \,\mathrm{kW}$  elektrische Leistung und mit Transistoren nur  $200 \dots 300 \,\mathrm{W}$ ; obendrein ist die Lebensdauer von Transistoren größer als die von Röhren.

Im Zusammenhang mit dem Reaktor als pulsierende Strahlenquelle wird das Verhalten von elektronischen Bauelementen während und nach Strahlenimpulsen sehr interessieren. Im besonderen ist dabei an Halbleiterelemente gedacht.

Schließlich soll noch die technische Messung großer Neutronenflüsse in Reaktoren unter Verwendung von Festkörpern untersucht werden.

#### 7) Werkstätten

Abschließend noch ein paar Worte über die mechanischen und elektronischen Werkstätten.

Als mechanische Werkstätten stehen zwei Räume zur Verfügung. In einem stehen Drehbänke und Maschinen für feinere Arbeiten; während im zweiten Maschinen zur groben Materialvorbereitung wie z. B. Hobel- und Blechbiegemaschinen, Sägen usw. aufgestellt sind. Dieser Raum wird auch als Schlosserei verwendet. Ein eigener Schweißraum mit entsprechender Ventilation ermöglicht alle einschlägigen Elektro- und Autogenschweißarbeiten. Bei der Planung der Werkstätte ist versucht worden, die Einrichtung so zu wählen, daß möglichst viele im Institut anfallende Arbeiten ausgeführt werden können, um von fremden Werkstätten weitgehend unabhängig zu sein.

In den Elektronikwerkstätten haben die Arbeitstische eine Stromversorgung für Lötkolben usw. unter der vorderen Tischkante. Über den Arbeitstischen ist eine durchlaufende Stellage für Meßgeräte angeordnet, wodurch die Arbeitsfläche besser ausgenützt werden kann.

#### Der Strahlenschutz des Atominstitutes

Von E. TSCHIRF, Wien

DK 061.62 (436.14): 621.039.58

#### 1) Allgemeines

Die Aufgaben des Strahlenschutzes teilen sich in zwei Hauptgebiete, den inneren und den äußeren Schutz, d. h. in die Sicherheitsvorkehrungen für die Mitarbeiter des Instituts und für die Bewohner der Umgebung des Reaktors. In beiden Fällen sind, da es sich um eine Ausbildungsstätte handelt, die außerdem im Siedlungsgebiet liegt, besondere Vorkehrungen notwendig.

Weiters soll die Strahlenschutzabteilung im Rahmen des Forschungsprogramms des Atominstituts mitwirken und außerdem den jeweils letzten Stand der Strahlenschutztechnik einem größeren Kreis zugänglich machen.

#### 2) Innerer Schutz

Dieser betrifft die Sicherheit der Gesundheit von Mitarbeitern, Studenten und Besuchern.

Zunächst seien die von der Firma garantierten Strahlungsverhältnisse bei normalem Betrieb des Reaktors (maximal 100 kW) angegeben: Die Strahlung beträgt an der Außenseite der Betonabschirmung 2,5 mr/h und an der Wasseroberfläche des Tanks 7,5 mr/h. Der entstehende Stickstoff N<sup>16</sup> ist zu vernachlässigen, das in Lufträumen unter hohem Neutronenfluß induzierte Argon A<sup>41</sup> wird durch eine spezielle Entlüftung sofort aus dem Reaktor entfernt. Diese Angaben werden laufend mittels tragbarer Geräte nachgeprüft.

Weiters wird in periodischen Abständen von zwei Tagen eine Untersuchung aller gefährdeten Räume durchgeführt und wöchentlich werden genaue Messungen in den Laboratorien, an den Arbeitsplätzen, der Kleider usw. vorgenommen.

Zur dauernden Überwachung und protokollarischen Aufzeichnung der wichtigsten Meßdaten dient die automatische Warnanlage. Sie besteht aus  $\gamma$ - $\beta$ -Zählrohren, von denen je zwei an der Außenwand der Reaktorhalle, an der Abschirmung des Reaktors und am Reaktorsockel angebracht sind. Ferner befindet sich ein Zählrohr am Demineralyzer und am Wärmeaustauscher. Im Auslaß der Abluft von Reaktor und Strahlrohren sind je vier gebündelte Zählrohre angebracht. Weiter sind luftwändige Ionisationskammern an einigen Stellen vorgesehen: ober dem Reaktortank, ober dem Shieldingtank und ober der Schaltwarte. Diese Kammern sollen eine möglichst genaue Ablesung der energieabhängigen Dosisleistung ermöglichen.

Der Meßbereich aller dieser Einrichtungen ist 20 μr/h... 100 mr/h. Bei 10 mr/h wird ein Voralarm und bei 50 mr/h der Hauptalarm ausgelöst. Die Anzeige der Instrumente erfolgt in der Nähe der Zählrohre und die Aufzeichnung mittels Schreibern in der Kontrollwarte. Die Alarmleitungen sind auch in das Zimmer des Strahlenschutzbeauftragten geführt.

An den Ausgängen von Reaktorhalle und radiochemischen Laboratorien sind Hand-Fußmonitore angebracht, die entsprechende Aktivierungen anzeigen.

Das gesamte strahlenexponierte Personal wird halbjährlich untersucht, wobei auch eine Blutuntersuchung durchgeführt wird.

Jeder Mitarbeiter trägt ein Filmdosimeter, das monatlich von einer neutralen Stelle ausgewertet wird. Ebenso sind für Teilnehmer des Praktikums Filmdosimeter vorgesehen. Für Versuche mit höheraktiven Strahlenquellen werden zusätzlich Taschendosimeter ausgegeben, die jederzeit den Stand der empfangenen Dosis anzeigen. Für Besucher sind indirekt ablesbare Taschendosimeter vorgesehen.

Mitarbeiter, die mit offenen Strahlern zu tun haben, werden alljährlich einer Urinuntersuchung unterzogen. Alle diese Werte sind in einer Zentralkartei für jede Person zusammengefaßt und werden monatlich intern allen Beteiligten bekanntgegeben.

Jedes Experiment mit höheren Aktivitäten wird von einer Kommission, bestehend aus den Vertretern der einzelnen Abteilungen und den Beauftragten für den Strahlenschutz, nach den Gesichtspunkten der Sicherheit durchgearbeitet und geplant. Beim Experiment selbst führt der Strahlenschutz die laufende Überwachung der Sicherheitsbedingungen durch.

#### 3) Äußerer Schutz

Es muß verhindert werden, daß der Pegel der natürlichen Aktivität durch den Betrieb des Instituts in schädlichem Maße überschritten wird. Dies setzt voraus, daß möglichst wenig Radioaktivität in den Kreislauf der Natur gerät. Alle Abgase und Abwässer müssen daher laufend überwacht werden.

#### 3,1) Abwasser

Es ist vorgesehen, daß alles aktive Stoffe enthaltende Abwasser zunächst gesammelt und entaktiviert wird. Dies ist Aufgabe der chemischen Abteilung und wird in einem anderen Aufsatz beschrieben. Vor der Ableitung in den Donaukanal muß das Abwasser von der Strahlenschutzabteilung gemessen und bei Unbedenklichkeit freigegeben werden. Es ist baulich vorgesorgt, daß keinerlei Abwasser aus dem Institut in den Grundwasserstrom gelangen kann. Trotzdem sind um das Gebäude acht Grundwasserbrunnen angeordnet, aus denen laufend Proben entnommen werden. Dadurch ist eine Beweisführung für die Betriebssicherheit gegeben. Weiters wird an einer Stelle oberhalb und an einer Stelle unterhalb des Auslaufwerkes im Donaukanal Wasser aus verschiedenen Tiefen entnommen und auf Aktivität untersucht.

#### 3,2) Abluft

Die Reaktorhalle steht unter dauerndem Unterdruck, da 2 000 m³/h mehr Abluft als Zuluft vorgesehen sind. Diese Abluft wird von der Warnanlage überwacht, ebenso das spezielle System für die Strahlrohre, das das schädliche Argonisotop A41 abführen muß. Beide Abluftsysteme haben eine Filtrierung eingebaut, die in Vorund Feinfilter aufgeteilt ist. Die Chemielaboratorien haben eine eigene Anlage für die Abzüge. Die Filter sind so eingerichtet, daß Zählrohre eingeführt werden können. Alle Filter sind leicht austauschbar und werden von den für den Strahlenschutz Verantwortlichen ersetzt. Für die heiße Zelle ist ein Abluftsystem vorgesehen, in dem auch die Zuluft gefiltert wird. Dabei besteht hier zwischen der heißen Zelle und dem Bedienungsraum stets eine Druckdifferenz. Eine automatisch arbeitende Anlage zur Messung von aktiven Aerosolen ermöglicht eine ständige Kontrolle der Außenluft<sup>1</sup>). Diese Anlage soll mit ihren Meßwerten das bereits bestehende Luftüberwachungsnetz ergänzen. In der näheren Umgebung um den Reaktor sowie an einigen Stellen im Stadtgebiet werden Staubfolien ausgelegt und in einem 2wöchigen Turnus ausgewertet.

#### 3,3) Wetterstation

Zum Vergleich der Meßergebnisse wird eine einfache meteorologische Station eingerichtet. Diese besteht aus einer Wetterhütte mit Instrumenten zur Temperatur-, Feuchte- und Druckmessung sowie Niederschlagsund Windmessungen auf dem Dach des Instituts. Die Wetterwerte werden zu den üblichen Normalzeiten festgehalten.

#### 3,4) Aktivität von Pflanzen

Zur Bestimmung der Einwirkungen auf den Aktivitätspegel in Pflanzen wird ein Mustergarten auf dem Reaktorgelände eingerichtet, in dem die wichtigsten Gemüsearten gezogen werden. Laufend werden Proben den radioaktiven Untersuchungen zugeführt.

#### 4) Ausbildung

Es soll im Rahmen des Strahlenschutzlaboratoriums Gelegenheit zu Diplomarbeiten und Dissertationen gegeben werden. Weiters beschäftigt sich der Strahlen-

 $<sup>^{1}</sup>$ ) Eine genaue Beschreibung dieser Anlage erfolgt in nächster Zeit durch Herrn Prof. Dr. Schedling, von dem dieses Gerät entwickelt wurde. Es handelt sich um ein diskontinuierlich arbeitendes Staubsammelgerät mit automatischer  $\beta$ -Messung und Aufzeichnung sofort nach der Sammelperiode und nach einer einstellbaren längeren Zeit. Der Nullwert wird ebenfalls laufend mit aufgezeichnet.

schutz mit der Entwicklung und dem Studium von neuen Geräten und Verfahren auf diesem Gebiet. Durch laufende Kurse für Studenten und Interessenten aus Industrie, Behörden und Instituten sollen die Erfahrungen und Methoden des Strahlenschutzes laufend vermittelt werden.

#### 5) Der radioaktive Grundpegel in der Umgebung des Reaktors

Um später die Auswirkung des Reaktors auf den radioaktiven Pegel beurteilen zu können, muß in einem größeren Zeitraum vor der Inbetriebnahme der Grundpegel bekannt sein. Es wurde daher schon Mitte 1960 mit den Messungen der Oberflächenwasser-Aktivität des Donaukanals begonnen. Weiters wurden Leerwertsmessungen der  $\gamma$ -Strahlung auf der Baustelle vorgenommen und an Pflanzen im Reaktorgelände und einem Vergleichsgelände durchgeführt. Mit dem Fortschreiten der baulichen Arbeiten werden weiterhin Grundwassermessungen, Aerosolüberprüfungen und weitere Untersuchungen von Pflanzenproben gemacht werden.

#### 6) Zusammenfassung der bis jetzt vorliegenden Ergebnisse

#### 6,1) Oberflächenwasser des Donaukanals<sup>2</sup>)

Entnahmeort unterhalb der Stadionbrücke. Es wurden jeweils 1 000 cm³ abgefüllt und knapp unter dem

Siedepunkt eingedampft. Die Messungen erfolgten im Methandurchflußzähler. Der K<sup>40</sup>-Gehalt wurde flammenphotometrisch bestimmt. Er war annähernd konstant  $2\cdot 10^{-9}\,\mu\text{c/cm}^3$ . Zwischen dem 7. Juli 1960 und dem 23. Februar 1961 wurde ein Mittelwert von  $4.6\cdot 10^{-9}\,\mu\text{c/cm}^3$   $\beta$ -Aktivität (abzüglich K<sup>40</sup>) gemessen. Der kleinste Wert betrug  $3\cdot 10^{-9}\,\mu\text{c/cm}^3$ , der größte Wert  $7\cdot 10^{-9}\,\mu\text{c/cm}^3$ .  $\alpha$ -Aktivitäten konnten nicht nachgewiesen werden.

601

#### 6,2) Ablagerungen in Pflanzen

Die Proben wurden aus dem Reaktorgelände sowie einer Vergleichsstelle (ehemalige Staatsfabrik Simmering) bezogen. Es handelte sich, da die bisherigen Messungen in den Wintermonaten erfolgten, um dürres Gras und Strauchwerk. Unterschiede zwischen Reaktorgelände und Vergleichsstellen konnten nicht beobachtet werden. Zwischen dem 7. Februar 1961 und dem 13. März 1961 wurden als Mittelwert der Messungen  $1,1\cdot 10^{-10}$  c/g Asche gemessen. Der kleinste Wert war  $0,8\cdot 10^{-10}$  c/g Asche, der größte  $1,9\cdot 10^{-10}$  c/g Asche ( $\beta$ -Aktivität). Die Veraschung der Pflanzen erfolgt bei 600 °C. Gemessen wurde mit einem  $\beta$ -Zählrohr, das mit K<sup>40</sup> geeicht war.

#### 6,3) $\gamma$ -Nullpegel auf der Baustelle

An 4 Stellen im Reaktorgebäude wurden \(\gamma\text{-Messungen}\) durchgeführt. Zwischen dem 19. Januar 1961 und dem 20. Februar 1961 ergaben sich als Mittel 33,6 Impulse/min.

#### Rundschau

# Physik

DK 621.039.007:92 Weisskopf

#### V. F. Weisskopf — Generaldirektor des CERN

Prof. Dr. V. F. Weisskopf wurde mit 1. August 1961 Generaldirektor des CERN. Sein Vorgänger war Dr. J. B. Adam, der jetzt wieder nach Großbritannien als Direktor des Controlled Thermonuclear Research Establishment in Culham zurückkehrt.

Prof. V. F. Weisskopf wurde am 19. September 1908 in Wien geboren. Er studierte unter Max Born und James Franck an der Universität in Göttingen und promovierte 1931 zum Doktor der Physik. Er war dann u. a. Assistent bei Heisenberg, Schrödinger und Pauli und Mitarbeiter von Niels Bohr. 1937 nahm er eine Berufung als Professor an die Universität von Rochester an und wirkte dort, bis er 1943 nach Los Alamos ging. 1945 kam er als Professor an das Massachusetts Institute of Technology in Neu England, wo er bis 1960 lehrte, 1950 und 1951 war er als Gastprofessor an der Sorbonne und am Polytechnischen Institut in Zürich tätig.

Prof. Weisskopf kam zuerst im Jahre 1957 als Gastprofessor nach Meyrin und nahm an den Versuchsarbeiten am 600-MeV-Synchrocyclotron des CERN teil, so daß er dem CERN kein Fremder mehr war, als er zum Generaldirektor vorgeschlagen wurde.

### Elektrische Traktion

DK 621.33 (494) (091) (048.1)

Die verschiedenen Arten der elektrischen Zugförderung bei den Schweizerischen Bundesbahnen seit ihren Anfängen. Von A. Degen, Bern.

Am 29. Mai 1960 wurde mit der Umstellung der beiden letzten Strecken die Elektrifizierung der Schweizerischen Bundesbahnen praktisch abgeschlossen. Mehr als 55 Jahre waren an diesem Tage verflossen, seit sich zum ersten Mal auf dem Staatsbahnnetz der Schweiz ein elektrisches normalspuriges Triebfahrzeug mit eigener Kraft und oberirdischer Stromzuführung in Bewegung gesetzt hatte.

Der Akkumulatorenbetrieb war von untergeordneter Bedeutung. Es wurden keine Triebwagen oder Lokomotiven zum Einsatz im Streckendienst gebaut. Im Jahre 1917 wurde — im Hinblick auf die im Ersten Weltkrieg eingetretene Verknappung der Kohle — eine Anzahl Triebfahrzeuge für Rangierzwecke bestellt. Aus wirtschaftlichen Gründen ist heute das letzte Triebfahrzeug dieser Art aus dem Rangierdienst in Bahnhöfen und Stationen zurückgezogen worden.

Die dieselelektrische Traktion mit ihrer gänzlichen Unabhängigkeit von der Fahrleitung wird in Zukunft an Stelle der heutigen Dampflokomotiven, die in einigen Jahren gänzlich aus dem Verkehr verschwunden sein werden, die für Störungen und für Sonderfälle erforderliche Reserve dar-

 $<sup>^{2}</sup>$ ) Diese Messungen wurden von Dr. K. Buchtela durchgeführt.

stellen. Für den Rangierdienst in Bahnhöfen, deren Geleise aus wirtschaftlichen oder aus betrieblichen Gründen nur teilweise mit Fahrleitungen ausgerüstet werden können, wurden Zweikraft-Traktoren gebaut. Normalerweise verkehren diese Fahrzeuge auf Geleisen mit Fahrleitungen für 15 kV, 16²/s Hz. Beim Fehlen der Fahrleitung übernimmt ein Dieselmotor mit angebautem Generator die Energielieferung. Bei drei derartigen Fahrzeugen ist an Stelle des Dieselmotors eine Akkumulatorenbatterie eingebaut worden.

Im Jahre 1921 wurde ein Heizwagen für die Zugsheizung in Betrieb genommen, der über einen liegenden Elektrokessel von 800...1 000 kW Leistung verfügte. Während des Zweiten Weltkrieges wurden ferner zwei normale Dampf-Rangierlokomotiven mit je drei Triebachsen zur Verwertung von hydraulischer Überschußenergie mit Widerstandsheizungen ausgerüstet. Alle diese Einrichtungen stehen heute nicht mehr im Betrieb.

Im Jahre 1906 wurde der rund 19 km lange Simplontunnel nach dem Drehstromsystem mit 3,0 kV, 16 Hz elektrifiziert. Nach einer Betriebszeit von nicht ganz 24 Jahren erfolgte die Umstellung auf das normale Einphasensystem 15 kV, 16²/3 Hz.

Am 1. Januar 1922 ging die private Seetalbahn mit einer gesamten Betriebslänge von etwa 45 km durch Verstaatlichung in den Besitz der Schweizerischen Bundesbahnen über. Sie war im Jahre 1910 nach amerikanischen Vorbildern mit 5,5 kV, 25 Hz elektrifiziert worden. Dieser Einphasenbetrieb wurde 1930 durch das normale System mit 15 kV, 16²/s Hz ersetzt.

Für den Einphasenbetrieb mit 162/3 Hz stehen den Schweizerischen Bundesbahnen heute 7 eigene Kraftwerke zur Verfügung. Dazu kommen noch 3 Partnerwerke, wovon eines gegenwärtig noch im Bau ist. Weitere Bezugsmöglichkeiten von Einphasenenergie bestehen bei verschiedenen großen Werken der Allgemeinversorgung. Bei allen diesen Anlagen handelt es sich entweder um Wasserkraftanlagen oder um Umformerwerke. Außerdem kann auch aus Deutschland thermisch erzeugte Einphasenenergie mit 162/3 Hz importiert werden. Ein eigenes Hochspannungsnetz mit 132, 66 und 33 kV dient der Verteilung der Energie über das ganze Land. Seine gesamte Länge beträgt gegenwärtig etwa 1 300 km, davon sind etwa 95% Freileitungen. In den Unterwerken erfolgt die Herabtransformierung der Energie auf 15 kV. Die ersten Anlagen an der Gotthardlinie wurden als Gebäudestationen erbaut, später ging man aus wirtschaftlichen Gründen zur Freiluftbauweise über. Ein einziges Unterwerk wird mit Drehstrom von 50 Hz beliefert. In Gleichrichtern erfolgt die Umformung in Gleichstrom von 1,5 kV für die Linie Genf-La Plaine. Während die Dampflokomotiven von 1920 bis 1959 von 1082 auf 148 Stück zurückgegangen sind, belief sich Ende 1959 die Zahl der elektrischen Lokomotiven und Motorwagen auf 767. Außerdem waren noch 164 elektrische Traktoren verschiedener Bauarten sowie 16 Dieseltriebfahrzeuge vorhanden.

Die Grenzbahnhöfe zwischen der Schweiz und Österreich oder Deutschland bieten wegen der Anwendung des gleichen Stromsystems betrieblich keine Schwierigkeiten. Das freie Zirkulieren der Triebfahrzeuge erfordert einzig gewisse bauliche Maßnahmen.

In den Grenzbahnhöfen mit Frankreich und Italien (Basel, Vallorbe, Pontarlier, Genf, Domodossola, Luino und Chiasso) sind separate oder zum Teil auch umschaltbare Geleise vorhanden, zum Teil erfolgt die Einfahrt der Züge im Schwung mit gesenkten Stromabnehmern. In Basel wurden Zweifrequenz-Rangierlokomotiven für 16²/₃ Hz und 50 Hz eingesetzt. Gegenwärtig befinden sich 4-Strom-Rangierlokomotiven sowie auch Einheiten für den TEE-Verkehr in Bau, die sowohl unter Fahrleitungen für Einphasenwechselstrom (16²/₃ Hz und 50 Hz) als auch für Gleichstrom (1,5 kV und 3,0 kV) verkehren können.

(Bull. SEV, 51. Jg. [1960], Nr. 12, S. 595...603.)

## Schwachstromtechnik

DK 681.14.001.57

Analogrechner mit 32 Verstärkern. Von F. REICHEL, München.

Einen kleinen Allzweck-Analogrechner, den "Simlac Minor", hat eine britische Firma auf den Markt gebracht. Dieses Allzweckgerät ist besonders für jene Wirtschaftskreise von Interesse, die eine größere Leistung benötigen, als sie der Allzweckrechner mit 18 Verstärkern liefert, die aber nicht auf die Leistung oder höhere Genauigkeit des vor kurzem angekündigten großen "Simlac-Rechners" angewiesen sind.

Das Gerät ist mit 32 Verstärkern und 100 passiven Elementen ausgerüstet. Ähnlich der größeren Ausführung zeigt auch dieser Rechner die Einheits-Rahmenbauweise und ist in zwei Gestelle eingebaut. Das linke Gestell enthält die Rechenelemente und das rechte die Instrumentierung, die auswechselbaren Steckbretter, die Netzteile und drei besonders nichtlineare Einheiten.

Um den zur Verfügung stehenden Raum voll auszunutzen, wurde auf eine thermostatische Stabilisierung verzichtet, aber die Gesamtgenauigkeit der Rechenelemente liegt trotzdem bei 0,1%. Die Verstärker und passiven Elemente sind Standardausführungen, während die Speicher-Einrichtung auf Wunsch mitgeliefert wird. Das Rechengerät wurde zum erstenmal auf der Londoner Ausstellung "Instrumente, Elektronik und Automation" vom 23. bis 28. Mai 1960 gezeigt.

Ein Allzweck-Rechner mit 18 Verstärkern, der 1953 erstmalig gebaut wurde, wurde ebenfalls ausgestellt. Bisher gelangten etwa 70 dieser Rechner in Großbritannien, im Commonwealth und in Europa zur Aufstellung, und zwar in den verschiedensten Industrien. Er hat einen großen Bereich zusätzlicher linearer und nichtlinearer Einheiten, Dieser Typ ist ein Schnell-Multiplikator, der nach dem Prinzip der binomischen Quadrate arbeitet und mit zwei abtriftkorrigierten und zwei abtriftkompensierten Verstärkern in Verbindung mit vier quadrierenden Diodenschaltungen ausgerüstet ist, wobei jeder Satz eine Halbparabel bildet. Eine andere Bauart stellt einen Servomultiplikator dar, mit dem vier einzelne Veränderliche mit einer gemeinsamen Veränderlichen multipliziert werden können. Das Gerät arbeitet langsam und ist hauptsächlich für zeitrichtige direkte Simulierungsarbeiten als Ergänzung zum Schnellmultiplikator gedacht.

DK 522.24:621.385

Neue Bildröhre für Himmelsteleskope. Von F. REICHEL, München.

Über bedeutende Fortschritte bei der Entwicklung einer neuen, technisch weiterentwickelten Bildröhre für Himmelsteleskope, eines Instrumentes, das die gesamte Himmelsforschung revolutionieren könnte, berichtete Dr. Gerald E. Kron vom Lick-Observatorium der University of California auf dem Mount Hamilton. Dr. Kron gehört mit zu den Pionieren auf dem Gebiet der Entwicklung elektronischer Verfahren für astronomische Beobachtungen. Wie der amerikanische Wissenschaftler ausführte, ist es mit Hilfe dieser Bildröhren möglich, die Leistung der derzeitigen Teleskope so stark zu erhöhen, daß diese der Leistung von solchen Geräten entsprechen, die in ihrem Umfang rund 21/4mal größer sind. Die Bildröhren haben eine hoch lichtempfindliche Oberfläche aus Zäsium mit einer Antimon-Basis. Sie werden an Stelle von Photoplatten für die Aufnahme weit entfernter Sterne benutzt, besitzen aber gegenüber diesen den Vorzug, weitaus bessere Photographien zu liefern. Der einzige technische Nachteil, den diese Bildröhren heute noch aufweisen, ist, daß die Zäsium-Oberfläche nur eine Aufnahme ermöglicht und jedesmal in einem zeitraubenden Prozeß neu präpariert werden muß.

(Deutsche Woche, 13. Juli 1960.)

#### Diverses

DK 533.6.07

Überschall-Windkanal in USA, Von F. REICHEL, München.

Im "Arnold Engineering Development Center" in Tullahoma, Tennessee (USA), wurde ein Windkanal mit einem Durchmesser von 16,5 m fertiggestellt. Er ist für Versuche mit Raumschiffen, Geschossen u. dgl. bestimmt. Mit dieser Anlage werden Geschwindigkeiten bis zu 4 800 km/h erreicht. Der Druck entspricht den Bedingungen, wie sie in etwa 25 km Höhe über der Erdoberfläche herrschen. Die notwendige Energie liefern zwei Motoren von je 83 000 PS und zwei Startmotoren von je 25 000 PS. Der Windkanal ist mit Material verkleidet, das Temperaturen bis zu 400 °C aushält.

(Deutsche Woche, 13. Juli 1960.)

DK 061.62(436.3): 69

#### Eröffnung der bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt in Salzburg.

Die Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt ist aus den Betonlaboratorien der Tauernkraftwerke AG hervorgegangen, die zur Zeit der Errichtung der Kapruner Talsperren bestanden haben. Es sei daran erinnert, daß uns der Bau der Limbergsperre seinerzeit vor große und schwierige Aufgaben stellte. Handelte es sich doch um ein Vorhaben, das im Hinblick auf seine Größe und Bedeutung in Österreich noch kein Vorbild besaß. Es war daher notwen-



Abb. 1

dig, besonderes Augenmerk auf die Entwicklung der Betonmischungen zu legen, zumal sowohl das Naturvorkommen an Sand und Kies als auch die verschiedensten Anlaufschwierigkeiten des Baubetriebes die größten Anforderungen an die Betontechnik stellten.

Als wenige Jahre später auf den Bau der Limbergsperre die Errichtung der Oberstufen von Kaprun folgte, wurden auch für das ursprünglich in Baracken untergebrachte erste Betonlaboratorium neue Gebäude in Kaprun errichtet. Die Anstalt wurde erweitert, und zwar sowohl hinsichtlich ihrer Ausstattung mit modernen Maschinen als auch durch Fachpersonal.

Nach Beendigung der Großbaustellen hatte die Anstalt ihre Aufgabe im Raume von Kaprun erfüllt. Man übertrug die Leitung einem Kuratorium und machte sie zunächst allen Gesellschaften und Baustellen des Verbundkonzerns zugänglich. Ferner erhielt sie die staatliche Autorisation, wodurch es ihr ermöglicht wurde, nicht nur für Außenstehende zu arbeiten, sondern auch entsprechende, vor Behörden wirksame Zeugnisse auszustellen. Sehr bald zeigte sich, daß viele Bauunternehmungen und Bauherrschaften von dieser Möglichkeit in ständig zunehmendem Maß Gebrauch machten, u. a. auch die Österreichischen Bundesbahnen und die Baustellen des Autobahnbaues.

Der Wunsch nach Verlegung von Kaprun nach Salzburg geht auf eine Bitte des Vereines der Ingenieure und Architekten in Salzburg an den Herrn Landeshauptmann zurück

Der Neubau wurde von der Verbund-Plan Ges. m. b. H., einer Gesellschaft des Verbundkonzerns, nach Entwürfen der Tauernkraftwerke AG in den Jahren 1959 und 1960 errichtet; die Übersiedlung von Kaprun konnte Ende vergangenen Jahres in die Wege geleitet und vor kurzem abgeschlossen werden. Sie mußte ohne Störung des Betriebes vor sich gehen.

## Nachrichten aus Industrie, Gewerbe und Wirtschaft

DK 621.311.21(436.4): 621.311.161(4)

#### Spitzenkraftwerk Kaunertal-Prutz 400 MVA

Der europäische Verbundbetrieb wird in den nächsten Jahren durch ein neues österreichisches Spitzenkraftwerk eine wertvolle Ergänzung erfahren.

Die Tiroler Wasserkraftwerke AG, Innsbruck, hat den Bau des Kaunertalkraftwerkes Prutz begonnen und wird bis zum Jahre 1965 insgesamt 5 Maschinensätze installieren, die eine Gesamtleistung von 400 MVA haben.

Das Maschinenhaus wird im oberen Inntal errichtet. Das Wasser zum Antrieb der Freistrahlturbinen wird aus einem mehr als 800 m höher gelegenen Speicher mit 140 Mill. m<sup>3</sup> Nutzinhalt zugeleitet.

Zwei Generatoren für dieses Werk werden von der Siemens-Schuckertwerke AG geliefert. Bemerkenswert ist die Maschinenleistung von 80 MVA bei 500 U/min; damit gehören diese Synchrongeneratoren zu den größten Einheiten, die jemals für diese Drehzahl in Auftrag gegeben wurden. Das Gesamtgewicht eines Generators beträgt 330 t, die Länge der Welle 10 m.

Entsprechend der besonderen Eignung dieser Wasserkraftanlage für Regulieraufgaben, wird das neue Werk zur Erzeugung von wertvoller Spitzenenergie eingesetzt. Der Einsatz des Kraftwerkes kann entsprechend dem Bedarf des angeschlossenen Verbundnetzes durch Fernsteuer-Impulse vom Netzregler des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes in Brauweiler gesteuert werden.

> Siemens-Schuckertwerke AG, Berlin — Erlangen

# Berichtigung

DK 621.315.1.011.3

Berechnung der Induktivität von Freileitungen. Von R. W. Guck, E und M, 78. Jg. (1961), H. 11, S. 375...380.

Auf S. 379, linke Spalte, vor Abschnitt 4) soll die Gleichung für das Viererbündel nicht

sondern

 $R' = \sqrt[4]{2 R \cdot a^3},$   $R' = \sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot R \cdot a^3}$ 

lauten.

## Eingelangte Bücher und Schriften

Astra-Reaktor. Reaktorzentrum Seibersdorf, Herausgegeben von der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie Ges. m. b. H. 207 Seiten, zahlreiche Abbildungen, Wien: Internationale Wirtschaftswerbung Alfred F. Koska. 1961. S 195,—.

Die an der Errichtung des Reaktorzentrums Seibersdorf beteiligten Firmen haben unter der Oberleitung der Österreichischen Studiengesellschaft für Atomenergie Ges. m. b. H. dieses sehr schön ausgestattete Buch herausgegeben.

Nach einer allgemeinen Einleitung über die Geschichte der Entwicklung, die Gliederung und die Aufgaben der Studiengesellschaft werden die einzelnen Teile des Reaktorzentrums von den erzeugenden Firmen in groben Umrissen geschildert. Zahlreiche Abbildungen unterstreichen die Ausführungen wirkungsvoll. Zum Abschluß wird den wissenschaftlichen Autoren des Buches gedankt und auszugsweise werden die Verträge und Abkommen, die die Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie Ges. m. b. H. geschlossen hat, angeführt.

Das außerordentlich gut ausgestattete Buch gibt auch dem Nichtfachmann einen klaren Querschnitt über die mannigfachen Probleme und Sonderausführungen, die bei der Errichtung eines Reaktorzentrums auftreten.

Betriebsstatistik 1960. Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie in Österreich. I. Teil — Gesamtergebnisse. 243 Seiten, mit zahlreichen Abbildungen, Diagrammen und Tabellen. Herausgegeben vom Bundeslastverteiler im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und Elektrizitätswirtschaft unter Mitarbeit der Österreichischen Elektrizitätswirtschafts-AG, der Landeslastverteiler und des Verbandes der Elektrizitätswerke Österreichs.

VDE-Schriftenreihe Heft 14. Kurzzeichen und Benennungen isolierter Starkstromleitungen und -kabel. Nach dem Stand vom 1. August 1961. Bearbeitet von Obering. J. Sass. 20 Seiten DIN A 5, kart. DM 2,—.

Die Vielzahl der in den VDE-Bestimmungen behandelten Leitungen und Kabel macht es, wie durch Anfragen immer wieder bestätigt wird, auch dem Eingeweihten oft nicht leicht, nach dem Kurzzeichen oder der Benennung ohne weiteres die Art oder den Verwendungszweck einer Leitung oder eines Kabels bzw. die in Betracht kommende VDE-Bestimmung festzustellen.

Die vorliegende Zusammenstellung soll ein Hilfsmittel hierfür sein, das in kürzester Form auf die für die Leitungen oder Kabel geltenden VDE-Bestimmungen hinweist; sie kann und soll kein Ersatz für diese Bestimmungen sein.

In der alphabetischen Liste der Kurzzeichen sind bei den Kabeln und bei einigen Leitungen nur die Stammtypen angegeben; die weitergehende Kennzeichnung von Abarten ist in einem besonderen Abschnitt behandelt.

Die Zusammenstellung berücksichtigt zunächst das Gebiet der Starkstromleitungen und -kabel.

## Mitteilungen

#### Vortrag im ÖVE

18. Oktober 1961: Vortrag des Herrn Dr. Wolfgang Ritter (Prokurist der Siemens & Halske AG, München, Vertriebsleiter der Halbleiterfabrik im Wernerwerk für Bauelemente) über: "Der heutige Stand der Transistortechnik". Nach dem Ende der 71. Generalversammlung des ÖVE; etwa 18.00 Uhr. — Ort: Wien I, Eschenbachgasse 9, II. Stock, Großer Saal.

Nach dem Vortrag findet ein zwangloses Zusammensein in den Klubräumen im I. Stock statt. Freies Buffet.

#### 4. Internationale Tagung "Mikrowellenröhren"

Das Nederlands Radiogenootschap NRG veranstaltet mit Unterstützung der U. R. S. C. die 4. Internationale Tagung "Mikrowellenröhren" vom 3. bis 7. September 1962 in der Technischen Hochschule in Delft, Holland.

Diese Tagung ist eine Fortsetzung der drei vorgegangenen Tagungen: Paris 1956, London 1958, und München 1960.

Die bevorstehende Tagung berücksichtigt die letzte Entwicklung auf dem Gebiet der Theorie und des Entwurfes der Mikrowellenröhren sowie zugehörige Themen.

Vorträge über nachstehende Themengruppen werden vorbereitet:

- 1. Dioden und gittergesteuerte Röhren,
- 2. Triftröhren,
- 3. Wanderfeldröhren,
- 4. Rückwärtswellenröhren,
- Magnetrons und Verstärkerröhren mit magnetischem Querfeld,

- 6. Parametrische Vorrichtungen,
- 7. Gasentladungsvorrichtungen,
- 8. Masers, Irasers und Lasers,
- Röhren spezieller Entwurf (Undulator, Cerenkov-Effekt, Oberschwingungsgenerator, u. ä.),
- 10. Geräusch,
- 11. Elektronenmechanik: Elektronenkanonen, Elektronenstrahlfokussierung u. ä.,
- 12. Hohlräume und Verzögerungsvorrichtungen,
- 13. Raumladungswellen,
- 14. Meßtechnik,
- 15. Technologie.

Anfragen sind an die Adresse: Tagungsbüro, Postfach 62, Eindhoven, Holland, zu richten.

#### Anschriften der Verfasser der Aufsätze dieses Heftes:

Bundesminister für Unterricht Dr. Heinrich Drimmel, Wien I, Minoritenplatz 5.

Prof. Dr. Gustav Ortner, Atominstitut der österreichischen Hochschulen, Wien IV, Karlsplatz 13.

Prof. Dr. Fritz Regler, Atominstitut der österreichischen Hochschulen, Wien IV, Karlsplatz 13.

Dipl.-Ing. Dr. Harald Weiß, Atominstitut der österreichischen Hochschulen, Wien IV, Karlsplatz 13.

Dr. Ortwin Bobleter und Dr. Karl Buchtela, Atominstitut der österreichischen Hochschulen, Wien IV, Karlsplatz 13. General Atomic, San Diego, Kalifornien, USA.

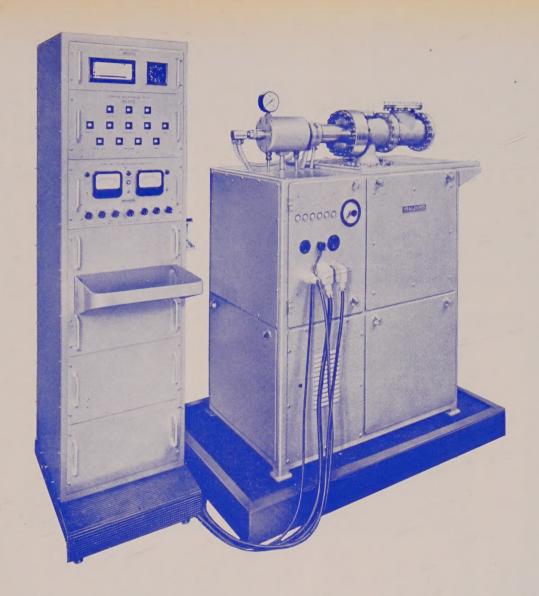
Dr. E. K. Björnerud und Dr. M. O. Stern, c/o General Atomic, San Diego, Kalifornien, USA.

Dr. M. T. Simnad und Dr. W. P. Wallace, c/o General Atomic, San Diego, Kalifornien, USA.

Dr. A. W. McReynolds, c/o General Atomic, San Diego, Kalifornien, USA.

Dr. Erich Tschirf, Atominstitut der österreichischen Hochschulen, Wien IV, Karlsplatz 13.

Eigentümer und Herausgeber: Österreichischer Verband für Elektrotechnik (Elektrotechnischer Verein Österreichs), Wien I, Eschenbachgasse 9, Fernruf 57 63 73 Serie. — Verleger: Springer-Verlag, Wien I, Mölkerbastei 5. — Schriftleiter: Heinrich Sequenz und Friedrich Smola, Wien I, Eschenbachgasse 9. — Für den Textteil verantwortlich: Heinrich Sequenz, Wien I, Eschenbachgasse 9. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: Alois Hailwax, Wien III, Paracelsusgasse 8. — Druck: Paul Gerin, Wien II, Zirkusgasse 13



# Ultrahochvakuum

für Wissenschaft und Technik

Glas- und Ganzmetall-Pumpstände für garantierte Enddrücke von  $< 5 \times 10^{-9}$  Torr bei Verwendung von Öldiffusionspumpen. Sauggeschwindigkeiten von 0,5 bis 750 l/s eff.

# BALZERS

BALZERS AKTIENGESELLSCHAFT FÜR HOCHVAKUUMTECHNIK UND DÜNNE SCHICHTEN BALZERS, FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN - TELEFON 075/41122 - TELEX 57 287 - TELEGRAMM: INTERFERENCIA IN ÖSTERREICH: DIPL.-ING. KARL BATZELSBERGER - INNSBRUCK TEMPLSTRASSE 5B - TELEFON 05222/5628 - TELEGRAMM: MILLIBAR

# GRAND-HOTEL PANHANS

(SEMMERING 1040 m)

Modernst ausgestattetes Haus mit neuen Appartements, Gesellschaftsräumen, Wintergarten, Liegeterrassen, Bar, Hotelkino, Garagen

Schwechater Bierstuben (bürgerl. Restaurant)

Panhans-Weindiele, täglich Stimmungs- und Tanzmusik

Temperiertes Alpenstrandbad (im Sommer)

Maurisches Sprudelschwimmbad (im Winter)

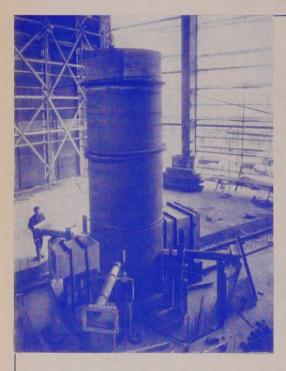
Panhans-Gäste-Reiten

Panhans-Tennisplatz, resp. Eislaufplatz

Sessellift auf den Sonnwendstein, Hirschenkogel und Stuhleck ganzjährig in Betrieb

Tagespension, Wochenarrangements, Sonderarrangements für Tagungen und Veranstaltungen

GRAND-HOTEL PANHANS, Semmering: 02664/366—369, 485 · Fernschreiber: 01/676





lieferte für Österreichs Hochschulreaktor TRIGA MARK II im Wiener Prater:

STRAHLROHRE
THERMISCHE SÄULE
ABSCHIRMER
DIESELAGGREGAT usw.

Neben der Lieferung der mechanischen Teile wurde von SGP der größte Teil der Gesamtmontage durchgeführt.

Unsere Reaktorbau-Abteilung liefert:

MECHANISCHE EINRICHTUNGEN für ATOM-REAKTOREN REAKTORTANK THERMISCHE SÄULEN STRAHLROHRE TRANSPORTBEHÄLTER, usw.

 Montage des 100 kW Forschungsreaktors TRIGA MARK II des Atominstitutes der Österreichischen Hochschulen.

# SIMMERING-GRAZ-PAUKER A. G.

Wien VII, Mariahilferstraße 32

Fernruf: 93 35 35

Fernschreiber: 01 2767